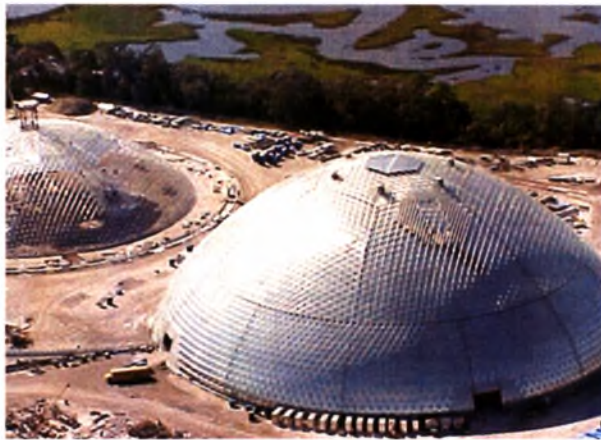




**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας**  
**Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών**  
**Δομοστατικός Τομέας**



***ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ***

*Σχεδιασμός και μελέτη ελλειψοειδούς  
γεωδαιτικού θόλου με κύριο υλικό  
κράματα αλουμινίου*

**Φοιτητής:** *Βασίλειος Ζιώγας*

**Επιβλέπων:** *Δημήτρης Σοφιανόπουλος*  
*Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ*

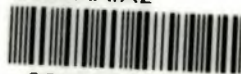
**Βόλος 2003**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ**  
**ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2542/1  
Ημερ. Εισ.: 09-03-2004  
Δωρεά: \_\_\_\_\_  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ ΠΜ  
2003  
Z1Ω

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072544

*Αποφοιτώντας από το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες του τμήματος για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν όλα αυτά τα χρόνια.*

*Ειδικότερα θεωρώ χρέος μου να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Δημήτριο Σοφιανόπουλο για την βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας και την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλη την πορεία της.*

*Τέλος ευχαριστώ και αφιερώνω την εργασία αυτή στην οικογένεια μου για την ηθική και υλική τους συμπαράσταση κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.*

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:*

*ΣΟΦΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ*

*ΛΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ*

*ΜΥΣΤΑΚΙΔΗΣ ΕΥΦΡΑΣΙΔΗΣ*

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

### **Κεφάλαιο 1. Γενικά περί αλουμινίου και των κραμάτων του**

A1.	Η γένεση του αλουμινίου.....	2
A2.	Παραγωγή κραμάτων αλουμινίου και κατάταξη αυτών.....	3
A3.	Χαρακτηρισμός και μηχανικές ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου σύμφωνα με τον ευροκώδικα 9.....	7
A4.	Κριτήρια επιλογής υλικών.....	11
A5.	Γενικά κριτήρια σχεδιασμού και εφαρμογές του αλουμινίου.....	11
A5.1.	Σύγκριση αλουμινίου με χάλυβα.....	11
A5.2.	Εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου σε κατασκευές.....	13

### **Κεφάλαιο 2. Θολωτές κατασκευές**

B1.	Ταξινόμηση και διαχωρισμός.....	20
B2.	Γεωδαιτικοί θόλοι.....	26
B3.	Γεωδαιτικοί θόλοι και αλουμίνιο.....	34
B4.	Λογισμικό για το σχεδιασμό γεωδαιτικών θόλων.....	38
B5.	Κόμβοι και συστήματα σύνδεσης και επικάλυψης γεωδαιτικών θόλων από αλουμίνιο: Γενικά στοιχεία-κατασκευαστικές λεπτομέρειες.....	41
B6.	Ακολουθία συναρμολόγησης και ανέγερσης θόλων.....	48

### **Κεφάλαιο 3. Σχεδιασμός, ανάλυση και μελέτη ελλειψοειδούς γεωδαιτικού θόλου με κύριο υλικό κράματα αλουμινίου**

Γ1.	Γενική περιγραφή-Γεωμετρικά στοιχεία.....	53
Γ2.	Επιλογή υλικών και διατομών.....	58
Γ3.	Φορτία επί κατασκευής.....	60
Γ4.	Τελική επιλογή στοιχείων κατασκευής.....	64
Γ5.	Επιλύσεις- Αποτελέσματα.....	66
Γ5.1.	Έλεγχος μετακινήσεων.....	66
Γ5.2.	Έλεγχος αντοχής και λυγισμού μελών.....	67
Γ6.	Ανάλυση καθολικής ευστάθειας.....	68
Γ7.	Ανάλυση κανονικών μορφών (modal).....	78
Γ8.	Υπολογισμός ιδίου βάρους της κατασκευής.....	80
Γ9.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	81
	Βιβλιογραφία.....	85

### **Παράρτημα Α. Πίνακες σωληνωτών διατομών από κράματα αλουμινίου**

### **Παράρτημα Β. Εταιρίες που σχεδιάζουν και κατασκευάζουν γεωδαιτικούς θόλους**

# Κεφάλαιο 1

Γενικά περί αλουμινίου και των  
κραμάτων του

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικά περί Αλουμινίου και των Κραμάτων του**

### **A1. Η νένεση του αλουμινίου**

Ένας Άγγλος Χημικός, ο Sir Humphry Davy του Royal Institute of London, ήταν ο πρώτος που πρόβλεψε τη δυνατότητα απομόνωσης του στοιχείου "αλουμινίο" ενώ εργαζόταν στα άλατα αλουμίνης (1807). Αυτά ανακαλύφθηκαν στο τέλος του δέκατου όγδοου αιώνα από Guyton de Morveau κατά τη διάρκεια των μελετών του για το αρχαίο "allume".

Η λέξη αυτή, η οποία προήλθε από τα λατινικά "allumen", χρησιμοποιήθηκε για ένα υλικό αμφίβολης σύνθεσης που αναφέρθηκε αρχικά στον αιγυπτιακό πολιτισμό στο δέκατο έκτο αιώνα Π.Χ.. Μερικά χρόνια αργότερα ο Oersted απομόνωσε τα πρώτα ίχνη του νέο μετάλλου. Το 1827 ο γερμανικός χημικός Whöler έλαβε το πρώτο ψήγμα αλουμινίου, το οποίο εκτίθεται στο πανεπιστημιακό μουσείο του Göttingen.

Η εμφάνιση, η ελαφρότητα και η ολκιμότητα του νέου μετάλλου είχαν σαν αποτέλεσμα να δοθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το νέο αυτό στοιχείο και άμεσα άρχισαν να καταβάλλονται προσπάθειες για τη βιομηχανική παραγωγή του. Ο Henry Sainte-Claire το 1854 ανέπτυξε μια διαδικασία ηλεκτρολυτικής απομόνωσης του αλουμινίου από το διπλό χλωρίδιο νατρίου - αλουμινίου, δίνοντας έτσι νέες βάσεις στην ανάπτυξη των μελλοντικών βιομηχανικών διαδικασιών παραγωγής.

Το πρώτο αλουμίνιο που παράχθηκε χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό κατασκευής ενός μεταλλίου προς τιμήν του Whöler, και η πρώτη δημόσια παραγγελία, που ζητήθηκε προσωπικά από τον Napoleon III, ήταν για την

κατασκευή αετών στις λόγχες των σημαιών των αυτοκρατορικών συνταγμάτων της Γαλλίας. Εκείνη την περίοδο το αλουμίνιο ήταν γνωστό ως "**ασημένιος άργιλος**" λόγω της ελαφρότητάς του σε συνδυασμό με την απαστράπτουσα εμφάνιση του.

Ο Γάλλος Paul Louis Touissant Heroult (1863-1914) υπήρξε ο κατ'εξοχήν θεμελιωτής της περαιτέρω χρήσης του αλουμινίου σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, καθόσον το 1866 κατοχύρωσε την ηλεκτρολυτική διαδικασία με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, με την οποία άρχισε η βιομηχανική παραγωγή του αλουμινίου, ειδικά στη Γαλλία και την Ελβετία.

Από περιέργη σύμπτωση, ο Charles Martin Hall (1863-1914), χωρίς να γνωρίζει τον Heroult και τα επιτεύγματα του, πέτυχε τα ίδια αποτελέσματα συγχρόνως στις Η.Π.Α. Η διαδικασία του χρησιμοποιήθηκε στη βιομηχανία αποκαλούμενη τώρα Aluminium Company of America (ALCOA).

*Η περίπτωση Heroult και Hall μπορεί να θεωρηθεί μια πολύ εντυπωσιακή σύμπτωση ταυτοτήτων: γεννήθηκαν το ίδιο έτος, μελέτησαν το ίδιο θέμα, παρήγαγαν ισοδύναμα αποτελέσματα, πέτυχαν ισοδύναμες τεχνολογικές καινοτομίες, και πέθαναν το ίδιο έτος στην αρχή του πρώτου παγκόσμιου πολέμου, κατά τη διάρκεια του οποίου τα κράματα αλουμινίου άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα.*

## **A2. Παραγωγή κραμάτων αλουμινίου και κατάταξη αυτών**

Πέραν των διαδικασιών παραγωγής αλουμινίου, που κανείς μπορεί να βρει στην εκτεταμένη επί του θέματος βιβλιογραφία (όσον αφορά τις σύγχρονες χημικές - μεταλλουργικές μεθόδους απομόνωσης και κατεργασίας του), κρίνεται σκόπιμο όπως υπάρξει ιδιαίτερη αναφορά στους τρόπους

παραγωγής των κραμάτων αλουμινίου και στη κατάταξη των σπουδαιότερων από αυτά.

Τα κράματα του αλουμινίου, κοινώς λεγόμενα *ελαφρά κράματα (light alloys)* αναπτύχθηκαν για την αύξηση της αντοχής του βασικού μετάλλου, το οποίο παρουσιάζει εξαιρετική ολκιμότητα και αντοχή σε διάβρωση. Σε αντίθεση με τα κράματα σιδήρου – άνθρακα (δηλαδή τους χάλυβες), τα κράματα αλουμινίου απαιτούν μια πολύ μικρή ποσότητα θερμικής ενέργειας για τη παραγωγή τους, καθώς και μικρές ποσότητες βασικών επιπρόσθετων στοιχείων. Τέτοια στοιχεία είναι το μαγνήσιο, το πυρίτιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο. Νικέλιο, κοβάλτιο, χρώμιο, σίδηρος, τιτάνιο και ζirkόνιο χρησιμοποιούνται σαν δευτερεύοντα στοιχεία των σχετικών κραμάτων. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τις ευνοϊκές ιδιότητες, που τα βασικά επιπρόσθετα στοιχεία προσφέρουν στο βασικό μέταλλο –το αλουμίνιο– ισχύουν συνοπτικά τα ακόλουθα:

- *Το μαγνήσιο* μειώνει το σημείο τήξης στους  $451^{\circ}\text{C}$ , γεγονός για το οποίο χρησιμοποιείται και σαν μέταλλο συγκόλλησης, ενώ αυξάνει τη δυνατότητα κράτυνσης και την αντοχή σε διάβρωση από το νερό της θάλασσας.
- *Το πυρίτιο* αυξάνει την αντοχή και την ολκιμότητα και μειώνει το σημείο τήξης. Σε συνδυασμό δε με μαγνήσιο επιτρέπει την κράτυνση λόγω καθίζησης και συμπύκνωσης (precipitation hardening).
- *Ο ψευδάργυρος* αυξάνει δραστικά την αντοχή και επιτρέπει κράτυνση λόγω καθίζησης και συμπύκνωσης τόσο εν ψυχρώ όσο και εν θερμώ.



- Τέλος, ο χαλκός προσδίδει ακόμα μεγαλύτερη αντοχή, πλην όμως μειώνει την αντοχή σε διάβρωση, τη συγκολλησιμότητα και την ολκιμότητα.

Όσον αφορά τη διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής, τα κράματα αλουμινίου ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- *Χυτά κράματα (cast alloys)*, τα οποία πρέπει να επανατηχθούν και κατόπιν να ακολουθήσει εκ νέου η διαδικασία χύτευσης. Παραδίδονται σε ράβδους μορφής T, που ευκολότατα επανατήκονται.

- *Κατεργασμένα κράματα (wrought alloys)*, τα οποία κατεργάζονται εν θερμώ ή εν ψυχρώ χωρίς να απαιτείται επανάτηξη τους. Αυτά παραδίδονται σε μορφή πλακών (slabs) ή λεπτών ράβδων (billets, rods) κατά περίπτωση.

Όσον αφορά την αντίδραση στη θερμική κατεργασία τους, τα κράματα κατατάσσονται σε:

- *Μη θερμικά κατεργάσιμα (non-heat-treatable)* και σε
- *Θερμικά κατεργάσιμα (heat-treatable)*

Στα πρώτα ανήκουν τα κράματα AlMn, AlMg και AlMgMn, στα οποία η αντοχή αυξάνεται με εν ψυχρώ διεργασίες, ενώ στα δεύτερα ανήκουν τα κράματα AlMgSi, AlZnMgCu και AlCuMg. Η θερμική τους κατεργασία δίδει μεγαλύτερη αντοχή και ακολουθεί τις επόμενες φάσεις:

1. Θέρμανση μέχρι 450 έως 530<sup>0</sup> C, ανάλογα με το κράμμα.
2. Ανόπτηση (tempering) με νερό ή αέρα
3. Παλαίωση (ageing) σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (φυσική)
4. Παλαίωση σε θερμοκρασίες μεταξύ 150 και 180<sup>0</sup> C (τεχνητή)

Από πλευράς χαρακτηρισμού και ονομασίας, και παρόλο που η ISO έχει επιξηρήσει να ενοποιήσει τον τρόπο αναφοράς στα κράματα αλουμινίου, αυτός διαφέρει ακόμα από χώρα σε χώρα. Πάντως, τα κατειργασμένα κράματα αλουμινίου μπορούν να ταξινομηθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους: σύμφωνα με μία αριθμητική ταξινόμηση ή σύμφωνα με μία αλφαριθμητική ταξινόμηση. Τα σύμβολα που καταδεικνύουν τη χημική σύνθεση ενός κράματος συνήθως ακολουθούνται από ένα επιπρόσθετο σύμβολο, το οποίο αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής.

Για την καλύτερη κατανόηση των αντοχών των κραμάτων που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια παραθέτονται οι έννοιες-ορισμοί των τριών βασικών τιμών που θα χρησιμοποιηθούν.

$f_{0.2}$  συμβατικό όριο διαρροής που αντιστοιχεί σε μόνιμη παραμόρφωση 0,2 % (0,2 % proof strength)

$f_u$  οριακή εφελκυστική αντοχή (ultimate tensile strength)

$A$  ελάχιστη επιμήκυνση στη θραύση (minimum elongation)

Τα παραπάνω σύμβολα αντιστοιχούν στον Ευρωκώδικα 9 και βρίσκονται σε απόλυτη συμβατότητα με αυτά του ISO 3898 αλλά και τις αντίστοιχες Αμερικανικές και Καναδικές Προδιαγραφές. Περισσότερες πληροφορίες επ' αυτών δύνανται να ευρεθούν στη σχετική βιβλιογραφία, ενώ τα κύρια χαρακτηριστικά των κραμάτων αλουμινίου που χρησιμοποιούνται στις χώρες αυτές παρέχονται **δωρεάν** στις ιστοσελίδες ***www.aluminium.org*** (για τις ΗΠΑ) και ***aac.aluminium.qc.ca*** (για τον Καναδά).

**A3. Χαρακτηρισμός και μηχανικές ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου****σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9**

Σύμφωνα με αυτό το Ευρωπαϊκό πρότυπο (prestandard), το οποίο καλύπτει τον σχεδιασμό κατασκευών με υλικό κράματα αλουμινίου, τα χρησιμοποιούμενα είδη κραμάτων και η σχετική ονομασία – χαρακτηρισμός αυτών (designation) δίδεται από τους ακόλουθους Πίνακες (1.1 και 1.2):

Χαρακτηρισμός (ονομασία) κράματος		Μορφή προϊόντος ανάλογα με το σχήμα και τον τρόπο κατεργασίας	Ανθεκτικότητα* (durability)
Αριθμητικά	Με χημικά σύμβολα		
EN AW – 3103	EN AW – Al Mn1	SH, ST, PL, ET	A
EN AW – 5083	EN AW – Al Mg4,5Mn0,7	SH, ST, PL, ET, SEP, ER/B, DT, FO	A
EN AW – 5052	EN AW – Al Mg2,5	SH, ST, PL	A
EN AW – 5454	EN AW – Al Mg3Mn	SH, ST, PL	A
EN AW – 5754	EN AW – Al Mg3	SH, ST, PL, FO	A
EN AW – 6060	EN AW – Al MgSi	ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW – 6061	EN AW – Al Mg1SiCu	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW – 6063	EN AW – Al Mg0,7Si	ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW – 6005	EN AW – Al SiMg(A)	EP	B
EN AW – 6082	EN AW – Al Si1MgMn	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B, DT, FO	B
EN AW – 7020	EN AW – Al Zn4,5MgCu	SH, ST, PL, ET, SEP ER/B, DT	C

Επεξηγήσεις συμβολισμών:

- SH : Sheet (φύλλα)
- ST : Strip (λωρίδες)
- PL : Plate (πλάκες)
- ET : Extruded Tube (σωλήνες με εξόλκευση)
- EP : Extruded Profiles (διατομές με εξόλκευση)
- SEP : Simple Extruded Profiles (απλές.....)
- ER/B : Extruded Rod and Bar (ράβδοι και δοκοί με εξόλκευση)
- DT : Drawn Tube (σωλήνες με έλξη)
- FO : Forgings (σφυρήλατες)

\*: A = εξαιρετική (η ανθεκτικότητα καθορίζει την ανάγκη και το βαθμό προστασίας)

**Πίνακας 1.1 Κατεργασμένα κράματα αλουμινίου (wrought)**

Χαρακτηρισμός (ονομασία) κράματος		Ανθεκτικότητα α (durability)
Αριθμητικά	Με χημικά σύμβολα	
EN AC – 42100	EN AC – Al Si7Mg0,3	B
EN AC – 42200	EN AC – Al Si7Mg0,6	B
EN AC – 43200	EN AC – Al Si10Mg(Cu)	C
EN AC – 44100	EN AC – Al Si12(b)	B
EN AC – 51300	EN AC – Al Mg5	A

**Πίνακας 1.2 Χυτά κράματα αλουμινίου (cast)**

Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες των ως άνω κραμάτων, ανάλογα με το είδος του κράματος και τον τρόπο παραγωγής και τη μορφή του, ισχύουν τα όσα παρατίθενται στους Πίνακες που ακολουθούν (1.3-1.7):

Κράμα	Μορφή ανόπτησης	Πάχος (mm)		$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$A_{50}$ %
		> από	μέχρι			
EN AW-3103	H14	0,2	25	120	140	2
	H16	0,2	4	145	160	1
EN AW-5052	H12	0,2	4	160	210	4
	H14	0,2	2	180	230	3
EN AW-5454	O/H111	0,2	8	85	215	12
	H24/H34	0,2	25	200	270	4
EN AW-5754	O/H111	0,2	100	80	190	12
	H24/H34	0,2	25	160	240	6
EN AW-5083	O/H111	0,2	50	125	275	11
		50	80	115	270	14
	H24/H34	0,2	25	250	340	4
EN AW-6061	T4	0,4	12,5	110	205	12
	T6	0,4	12	240	290	6
EN AW-6082	T4	0,4	12	110	205	12
		0,4	6	260	310	6
	T6	6	12,5	255	300	9
		12	100	240	295	8
EN AW-7020	T6	0,4	12,5	280	350	7
	T651	12,5	40			9

**Πίνακας 1.3 Μηχανικές ιδιότητες κατειργασμένων κραμάτων : Φύλλα, Λωρίδες και πλάκες**

Κράμα	Μορφή προϊόντος	Είδος ανόπησης	Διάσταση $t$ πάχος τοιχώματος ή πάχος mm	$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$A$ %
EN AW-5083	ET, EP, ER/B	F, H112	$t \leq 200$	110	270	12
	DT	H12, H22 H32	$t \leq 10$	200	280	6
		H14, H24 H34	$t \leq 5$	235	300	4
EN AW-6060	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8
	ET, EP, ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8
	DT		$t \leq 20$	160	215	12
EN AW-6061	ET, EP, ER/B, DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8
EN AW-6063	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7
	ET, EP, ER/B	T6	$t \leq 10$	170	215	8
	DT		$t \leq 20$	190	220	10
EN W-6005A	EP/O	T6	$t \leq 5$	225	270	8
			$5 < t \leq 10$	215	260	8
			$10 < t \leq 25$	200	250	8
	EP/H	T6	$t \leq 5$	215	255	8
			$5 < t \leq 15$	200	250	8
EN AW-6082	EP, ET, ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14
	EP/O, EP/H	T5	$t \leq 5$	230	270	8
	EP/O, EP/H ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8
			$5 < t \leq 25$	260	310	10
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8
			$20 < t \leq 150$	260	310	8
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8
			$5 < t \leq 20$	240	310	10
EN AW-7020	EP/ER/B, DT, ET	T6	$t \leq 15$	280	350	10

**Πίνακας 1.4 Μηχανικές ιδιότητες κατεργασμένων κραμάτων : Διατομές σωλήνες, ράβδοι και δοκοί με εξόλκευση – σωλήνες με έλξη (EP/O = ανοικτές διατομές με εξόλκευση, EP/H = κοίλες διατομές με εξόλκευση, όπου οι αριθμοί είναι με έντονη γραφή μπορεί να επιτρέπονται και μεγαλύτερες τιμές τους)**

Κράμα	Είδος ανόπτησης	$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	A %
EN AW-3103	Hx65	150	170	3
	Hx85	170	190	2

**Πίνακας 1.5 Μηχανικές ιδιότητες κατειργασμένων κραμάτων : Ηλεκτρικά συγκολλημένοι σωλήνες**

Κράμα	Είδος ανόπτησης	Πάχος έως (mm)	Διεύθυνση	$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	A %
EN AW-5754	H112	150	Διαμήκης (L)	80	180	15
EN AW-5083	H112	150	Διαμήκης (L)	120	270	12
			Εγκάρσια (T)	110	260	10
EN AW-6082	T6	100	Διαμήκης (L)	260	310	6
			Εγκάρσια (T)	250	290	5

**Πίνακας 1.6 Μηχανικές ιδιότητες κατειργασμένων κραμάτων: Σφυρήλατες διατομές**

Κράμα	Διαδικασία χύτευσης	Είδος ανόπτησης	$f_{0,2}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	A <sub>50</sub> %
EN AC-42100	Χύτευση με άμμο	T6	190	230	2
	Μόνιμη μήτρα	T6	210	290	4
EN AC-42200	Χύτευση με άμμο	T6	210	250	1
	Μόνιμη μήτρα	T6	240	320	3
EN AC-43200	Χύτευση με άμμο	F	80	160	1
	Χύτευση με άμμο	T6	180	220	1
	Μόνιμη μήτρα	F	90	180	1
	Μόνιμη μήτρα	T6	200	240	1
EN AC-44100	Χύτευση με άμμο	F	70	150	4
	Μόνιμη μήτρα		80	170	5
EN AC-51300	Χύτευση με άμμο	F	90	160	3
	Μόνιμη μήτρα		100	180	4

**Πίνακας 1.7 Μηχανικές ιδιότητες χυτών κραμάτων**

Τέλος, οι τιμές σχεδιασμού των σταθερών του υλικού για τα ανωτέρω κράματα αλουμινίου είναι:

Μέτρο ελαστικότητας	$E = 70000 \text{ N/mm}^2$
Μέτρο διάτμησης	$G = 27000 \text{ N/mm}^2$
Λόγος του Poisson	$\nu = 0.3$
Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής	$\alpha = 23 \times 10^{-6} \text{ ανά } ^\circ\text{C}$
Ειδικό βάρος (specific weight, unit mass)	$\rho, \gamma = 2700 \text{ kg/m}^3$

#### **A4. Κριτήρια επιλογής υλικών**

Η επιλογή του κατάλληλου κράματος αλουμινίου για οποιαδήποτε εφαρμογή στο χώρο των δομοστατικών κατασκευών καθορίζεται σαν συνδυασμός ορισμένων παραγόντων όπως: αντοχή, ανθεκτικότητα, φυσικά χαρακτηριστικά, συγκολλησιμότητα, ευκολία στη κατεργασία και διαθεσιμότητα στην αγορά (τόσο του κράματος όσο και της μορφής των διατομών). Ο Ευρωκώδικας 9 στο Παράρτημα Β παρέχει - ανά είδος κράματος και σύμφωνα με το αν αυτά είναι ή όχι θερμικά κατεργάσιμα – γενικές οδηγίες για την επιλογή του κατάλληλου κράματος.

#### **A5. Γενικά κριτήρια σχεδιασμού και εφαρμογές του αλουμινίου**

##### **A5.1. Σύγκριση αλουμινίου και χάλυβα**

Με σκοπό να υπάρξει αποτελεσματική και επαρκής σύγκριση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των κραμάτων αλουμινίου με αυτά του χάλυβα, που είναι το κατ' εξοχήν ανταγωνιστικό υλικό στις κατασκευές, κρίνεται σκόπιμο όπως αναφερθούν στο σημείο αυτό περιληπτικά οι

ιδιαιτερότητες των κραμάτων αλουμινίου. Τα βασικά χαρακτηριστικά του αλουμινίου (σύμφωνα και με τα όσα προηγουμένως αναφέρθηκαν) είναι:

*Ελαφρότητα:* Το ειδικό του βάρος ισούται με το ένα τρίτο αυτού του χάλυβα.

*Αντίσταση σε διάβρωση:* Όταν έλθει σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, το μέταλλο καλύπτεται εκ του φυσικού με ένα λεπτό στρώμα προστατευτικού οξειδίου.

Το αλουμίνιο είναι επίσης ιδιαίτερα *όλκιμο* ( $A = \epsilon_t = 40\%$ ), αλλά η αντοχή του είναι πολύ χαμηλή για δομοστατικές εφαρμογές ( $f_{0.2} \approx 20 \text{ N/mm}^2$ ). Με σκοπό την αύξηση της αντοχής μπορεί να εφαρμοστεί μια εν ψυχρώ διαδικασία (cold-working process), η οποία αυξάνει την αντοχή ιδιαίτερα ( $f_{0.2} \approx 100 \text{ N/mm}^2$ ), ενώ παράλληλα μειώνει δραστικά την ολκιμότητα (περίπου στο ένα δέκατο της αρχικής της τιμής).

Η δημιουργία κραμάτων με άλλα στοιχεία (AlMn, AlMg κλπ.) αυξάνει την αντοχή, η οποία μπορεί να υπερβεί την τιμή των  $100 \text{ N/mm}^2$ , ενώ η ολκιμότητα δύναται να φτάσει το 10%. Όμως μειώνεται η αντίσταση έναντι διάβρωσης.

Ακόμα μεγαλύτερες αντοχές μπορούν να επιτευχθούν, αν εφαρμοστεί θερμική κατεργασία. Η αντοχή φθάνει τιμές ίσες με  $f_{0.2} \approx 250 \text{ N/mm}^2$  για κράματα AlSiMg ενώ για κράματα AlZn και AlCu ίσες με  $f_{0.2} = 350\text{-}400 \text{ N/mm}^2$ . Γενικότερα, μπορεί να λεχθεί ότι τα κράματα αλουμινίου παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος αντοχών απότι ο χάλυβας.



Λόγω του γεγονότος ότι το μέτρο ελαστικότητας είναι περίπου για τα κράματα αλουμινίου ίσο με το ένα τρίτο αυτού του χάλυβα, μπορούν να εμφανιστούν συχνότερα προβλήματα μεγάλων παραμορφώσεων και αστάθειας (λυγισμού), ενώ επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής του χάλυβα είναι σχεδόν ίσος με το ήμισυ αυτού των κραμάτων αλουμινίου, οι κατασκευές από αλουμίνιο είναι περισσότερο ευαίσθητες σε θερμοκρασιακές μεταβολές, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στο σχεδιασμό στηρίξεων.

Πέραν τούτων, αν μια κατασκευή από αλουμίνιο έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρεμποδίζονται μεγάλες παραμορφώσεις λόγω θερμοκρασίας, οι παραμένουσες τάσεις είναι κατά 30% μικρότερες αυτών των χαλύβδινων κατασκευών.

#### *A5.2. Εφαρμογές κραμάτων αλουμινίου σε κατασκευές*

Σύμφωνα με όλα τα ανωτέρω εκτεθέντα, αλλά και τις υπόλοιπες ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου, όσον αφορά τη δυνατότητα συνδέσεων μελών μέσω συγκόλλησης, κοχλίωσης αλλά και ήλωσης (λεπτομέρειες επί των οποίων μπορεί κανείς να βρει στη διεθνή βιβλιογραφία) καθώς επίσης και σύμφωνα με τον τρόπο παραγωγής και κατεργασίας διαφόρων τύπων διατομών, τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν:

α. Τα κράματα αλουμινίου αντιπροσωπεύουν μια ευρεία οικογένεια υλικών και καλύπτουν το εύρος αντοχών που προσφέρεται από τους συνήθως χρησιμοποιούμενους «ήπιους» χάλυβες.

β. Η αντίσταση σε διάβρωση φυσιολογικά καθιστά μη αναγκαία τη προστασία των κατασκευών αλουμινίου.

γ. Το πλεονέκτημα της ελαφρότητας αντισταθμίζεται από την υψηλή παραμορφωσιμότητα του αλουμινίου, που εγκυμονεί μεγαλύτερους κινδύνους έναντι απώλειας της ευστάθειας.

δ. Το αλουμίνιο δεν θραύεται ψαθυρά, με ιδιαίτερη πάντως προσοχή σε προβλήματα που απαιτούν μεγάλη ολκιμότητα.

ε. Η διαδικασία βιομηχανικής εξόλκευσης προσδίδει τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Αύξηση των γεωμετρικών ιδιοτήτων μιας διατομής, σχεδιάζοντας ένα σχήμα που ταυτόχρονα έχει το ελάχιστο βάρος και την υψηλότερη δομική ικανότητα (structural efficiency).

2. Παραγωγή δύσκαμπτων μορφών - μελών χωρίς τη χρήση σύνθετων διατομών, αποφεύγοντας έτσι συγκολλήσεις ή κοχλιώσεις.

3. Απλούστευση των διαδικασιών ανέγερσης και σύνδεσης μεταξύ διαφορετικών συστατικών (στοιχείων).

4. Επίτευξη οικονομίας στις κατασκευές, συνδυάζοντας όλες τις ευνοϊκές ιδιότητες των κραμάτων αλουμινίου, σε συνδυασμό με τη τελευταία λέξη της τεχνολογίας.

Απαντώντας κατά συνέπεια στο ερώτημα «δύναται το αλουμίνιο να ανταγωνιστεί το χάλυβα σε εκείνες τις κατασκευές όπου ο χάλυβας χρησιμοποιείται παραδοσιακά», μπορεί κανείς ασφαλώς να ισχυριστεί ότι η

χρήση κραμάτων αλουμινίου αντί χάλυβα οδηγεί σε οικονομικότερες κατασκευές με τη προϋπόθεση ότι γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των πλεονεκτημάτων του αλουμινίου στις κατασκευές αυτές. Ειδικότερα, η ελαφρότητα του αλουμινίου έχει σαν αποτέλεσμα:

1. Ευκολότερη ανέγερση
2. Μεταφορά πλήρως προκατασκευασμένων μερών
3. Μείωση των φορτίων που δρουν στις θεμελιώσεις
4. Οικονομία σε ενέργεια είτε κατά τη ανέγερση είτε κατά τη διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής
5. Μείωση εργατικών

Αντίστοιχα, η αντίσταση σε διάβρωση οδηγεί σε:

1. Μείωση των εξόδων συντήρησης και
2. Καλύτερη συμπεριφορά σε άκρως διαβρωτικές περιβαντολλογικές συνθήκες.

Οι κατασκευές που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα αυτά συνοπτικά έχουν ως εξής:

- a. Στέγαστρα μεγάλων ανοιγμάτων, όπου τα κινητά φορτία είναι μικρά σε σύγκριση με τα μόνιμα, όπως στη περίπτωση δικτυωτών χωρικών κατασκευών (reticulated space structures).
- β. Κατασκευές σε δυσπρόσιτες γεωγραφικές θέσεις, μακριά από τον τόπο βιομηχανικής παραγωγής. Σε τέτοιες περιπτώσεις η οικονομία στη μεταφορά και η ευκολία στην εγκατάσταση είναι παράγοντες ύψιστης

σημασίας. Παράδειγμα αποτελούν πύργοι μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι μπορούν να μεταφερθούν επί τόπου με ελικόπτερο πλήρως κατασκευασμένοι.

γ. Κατασκευές σε διαβρωτικά και υγρά περιβάλλοντα όπως οροφές κολυμβητηρίων, γέφυρες ποταμών, υδραυλικές κατασκευές, θόλοι αποθήκευσης ορυκτών, καθώς και μεγάλες κατασκευές μακριά από την ακτή (offshore superstructures).

δ. Κατασκευές με κινούμενα μέρη, όπως εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων και κινούμενες γέφυρες, όπου η ελαφρότητα σημαίνει οικονομία σε ενέργεια κατά τη διάρκεια λειτουργίας.

Στον Πίνακα 1.8 που έπεται παρατίθενται οι σπουδαιότερες εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου σε κατασκευές, οι οποίες συνδυάζουν τα τρία διεθνώς αναγνωρισμένα πλεονεκτήματα αυτών η αντοχή σε διάβρωση (Corrosion resistance, **C**), μικρό βάρος (Light weight, **L**) και λειτουργικότητα των διατομών εξόλκευσης (Functionality of extruded profiles, **F**).

**Πίνακας 1.8 Οι κύριες εφαρμογές των κραμάτων αλουμινίου στις κατασκευές**

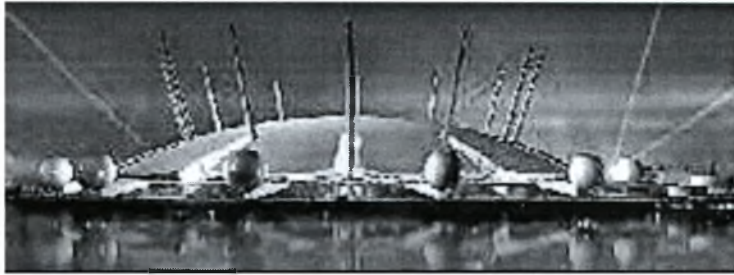
<b>C</b>
Οχήματα και σκάφη αποθήκευσης και μεταφοράς
Βραχίονες και στύλοι φωτισμού
Επικαλύψεις στεγών και κατακόρυφων χωρισμάτων (τοιχών)
Στηρίξεις εναέριων δικτύων ηλεκτροδότησης σιδηροδρόμων
Κλειστές κατασκευές σε έργα αποχέτευσης
Φράγματα ήχου
Συστήματα πέδησης οχημάτων
Γέφυρες εγκαταστάσεων επεξεργασίας λιμμάτων
Σιλό
Υποστηρίγματα και πάσσαλοι σημάτων κυκλοφορίας
<b>F</b>
Προκατασκευασμένα μπαλκόνια
Κατασκευές στήριξης ιμάντων μεταφοράς
Μονόραβδοι σιδηρόδρομοι
Κατασκευές στήριξης ρομπότ
Σκελετοί διαφραγμάτων
Διαφράγματα σηράγγων
<b>L</b>
Βραχίονες γερανών
Γερανοί σε φορτηγά
Υποστυλώματα φρεάτων
Γέφυρες
Κινούμενες δικτυωτές κατασκευές επιθεώρησης γεφυρών
Συστήματα ικριωμάτων
Σκάλες
Τηλεσκοπικές πλατφόρμες
Ιστοί σκέπαστρων
<b>C + F</b>
Χωρικές κατασκευές (θόλοι, χωροδικτυώματα κλπ.)
Στέγες κολυμβητηρίων
Υπόστεγα λεωφορείων

Θερμοκήπια και κατασκευές με γυαλί
Παραπετάσματα πεζογεφυρών
Κλίβανοι ξήρανσης ξύλων
Λυόμενες κατασκευές επίδειξης
<b>C + L</b>
Ιστοί σημαιών
Δικτυώματα φωτιστικών συστημάτων
Γέφυρες πρόσβασης αεροσκαφών
Πύργοι μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
Δικτυώματα επιθεώρησης γεφυρών
Κατασκευές εκτός ακτών
Καλύμματα επίπλευσης δεξαμενών
<b>C + L</b>
Κεκλιμένα επίπεδα (ράμπες) πρόσβασης
Ανελκυστήρες οικοδομικών υλικών
Στρατιωτικές γέφυρες
Ραδιοφωνικοί ιστοί
Πλαίσια κατασκευών με υφασμάτινες επικαλύψεις (fabric)
<b>C + F + L</b>
Κιγκλιδώματα
Σκελετοί ελικοπτέρων

# Κεφάλαιο 2

Θολωτές κατασκευές

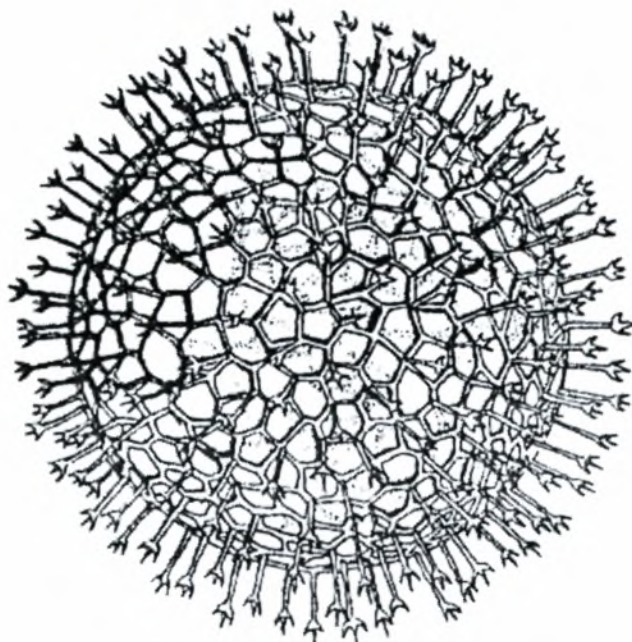
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θολωτές κατασκευές**



*Millenium Dome, Λονδίνο*

### **B1. Ταξινόμηση και διαχωρισμός**

Οι θολωτές κατασκευές (dome structures) αποτελούν πέρα από κάθε αμφισβήτηση το παλαιότερο και αισθητικά ανώτερο είδος χωρικών κατασκευών και συγχρόνως είναι η κλασικότερη επιλογή της φύσης, με την έννοια της ελάχιστης απαιτούμενης προσπάθειας για τα μέγιστα αποτελέσματα, όπως χαρακτηριστικά καταδεικνύεται στο Σχήμα 2.1, όπου φαίνεται μεγέθυνση ενός ραδιολάριου σκελετού πλαγκτόν.



**Σχήμα 2.1** Επιλογή της φύσης για θολωτές συνθέσεις στο μικρόκοσμο



Η ουσιαστική επανάσταση στη χρήση θολωτών κατασκευών συνδέεται άμεσα με τη χρήση του χάλυβα, με τα γνωστά του πλεονεκτήματα, και στη συνέχεια με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, για ευνόητους λόγους. Περαιτέρω ανάπτυξη επί του θέματος μπορεί να ευρεθεί στην ιστοσελίδα της IASS (International Association of Space Structures) (σχήμα 2.2) καθώς και στη σχετική βιβλιογραφία.



**Σχήμα 2.2 Λογότυπο της IASS**

Το ενδιαφέρον της παρούσας εστιάζεται στη ταξινόμηση και το διαχωρισμό των διαφόρων τύπων θολωτών κατασκευών. Υιοθετείται σε ότη ακολουθεί η καθαρά αρχιτεκτονική άποψη περί ταξινόμησης των θόλων, η οποία τους διαχωρίζει σε κατηγορίες σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- Τύπος (type)
- Μορφή (pattern)
- Μέτρο (module)

Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη ταξινόμηση οι διάφορες μορφές θολωτών κατασκευών ταξινομούνται ως εξής:

**α. Ανάλογα με τον τύπο του θόλου:**

- Αυτούσιιοι θόλοι (domes), οι οποίοι επιμερίζονται σε
  - Κυκλικούς

- ο Παραβολικούς
- ο Ελλειπτικούς
- ο Σύνθετους παραβολικούς
- ο Ανεστραμμένους παραβολικούς

με κύριο χαρακτηριστικό τη διπλή καμπυλότητα σε μία διεύθυνση σε κωνικής τομής κάτοψη (Σχήμα 2.3).

- Ελεύθεροι θόλοι (freedomes)

με κύριο χαρακτηριστικό τη διπλή καμπυλότητα σε μία διεύθυνση σε ανώμαλης μορφής κάτοψη (Σχήμα 2.4).

- Υπερθόλοι (hyperware)

με κύριο χαρακτηριστικό τη διπλή καμπυλότητα σε αντίθετες διευθύνσεις (Σχήμα 2.5) και τέλος

- Τρισδιάστατα δικτυώματα (3D-lattice)

με κύριο χαρακτηριστικό τη διπλή καμπυλότητα σε μία διεύθυνση σε ανώμαλης μορφής κάτοψη (Σχήμα 2.6).

### **β. Ανάλογα με τη μορφή (pattern) του θόλου:**

- Γεωδαιτικοί (geodesic)
- Προβολής (projection)
- Φολιδωτοί (lamella)
- Τύπου Kiewitt και
- Συνδυασμένοι (combination)

Οι οποίοι αναπαριστούνται γραφικά του Σχήματος 2.7 και τέλος

### **γ. Ανάλογα με το μέτρο (module) του θόλου:**

- Μεμβράνη απλού επιπέδου
- Διπλού επιπέδου με διανωνίους
- Διπλού επιπέδου με ορθοστάτες

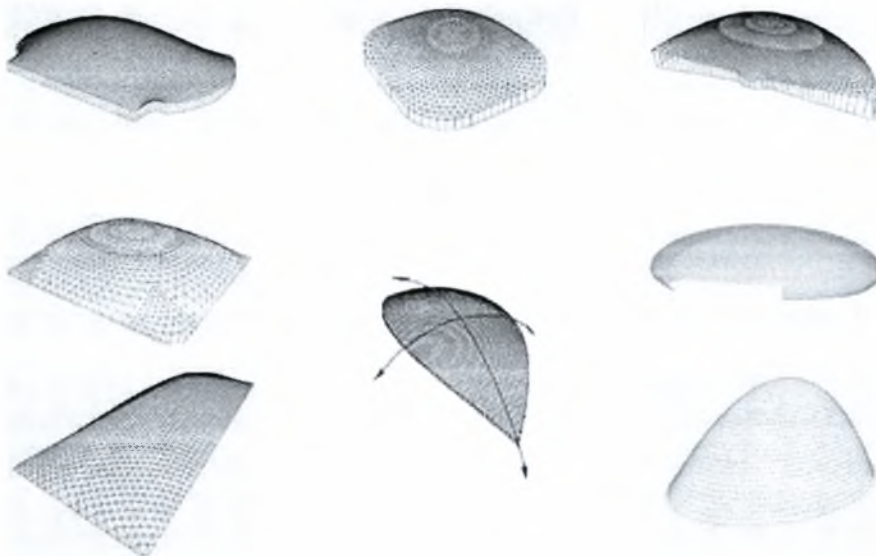
όπως αναπαρίσταται στο Σχήμα 2.8

Η εν λόγω κατάταξη, παρόλο που δεν είναι η μοναδική, δύναται να θεωρηθεί ως η πλέον αντιπροσωπευτική και συγχρόνως πλέον προσιτή στους μη ειδικούς επί του θέματος αναγνώστες.

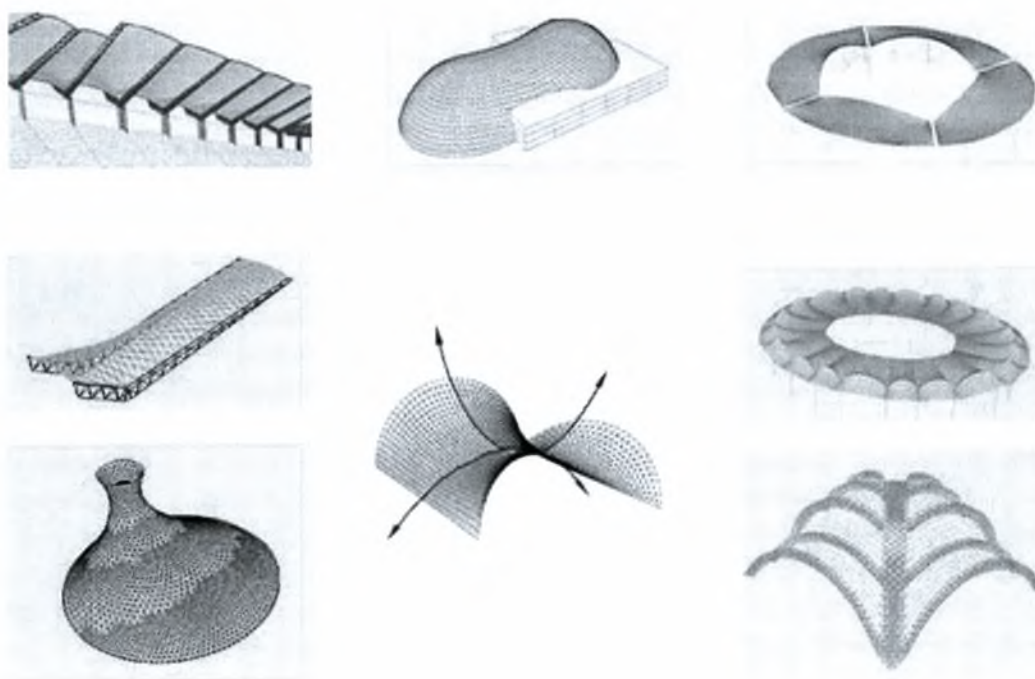
Στη συνέχεια παρατίθενται τα Σχήματα 2.3 – 2.8, μετά από άδεια της Αμερικανικής εταιρείας **Geometrica Inc.**, 908 Town & Country Blvd. Ste. 330 Houston, TX 77024 την οποία οι συντελεστές της παρούσας διπλωματικής ευχαριστούν θερμά, τόσο για την αφιλοκερδή συμπαράσταση όσο και για την άμεση ανταπόκριση της σε απορίες και ερωτήματα, που συχνά απασχόλησαν τον συντάκτη αλλά και τον επιβλέποντα του παρόντος πονήματος.



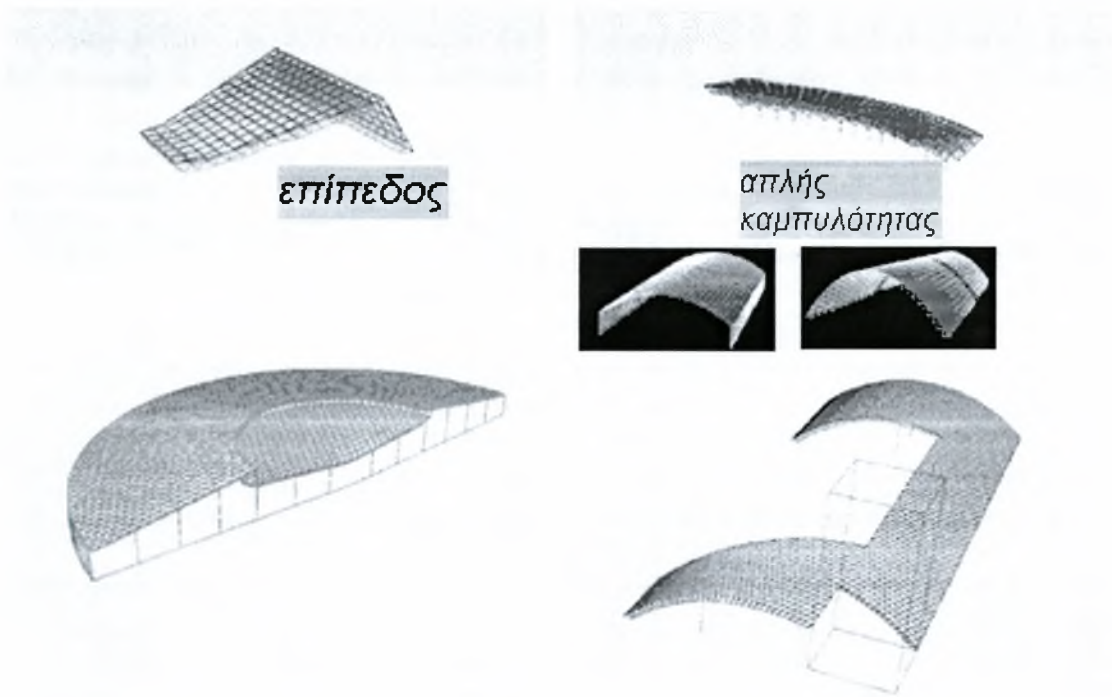
**Σχήμα 2.3 Τύποι αυτούσιων θόλων**



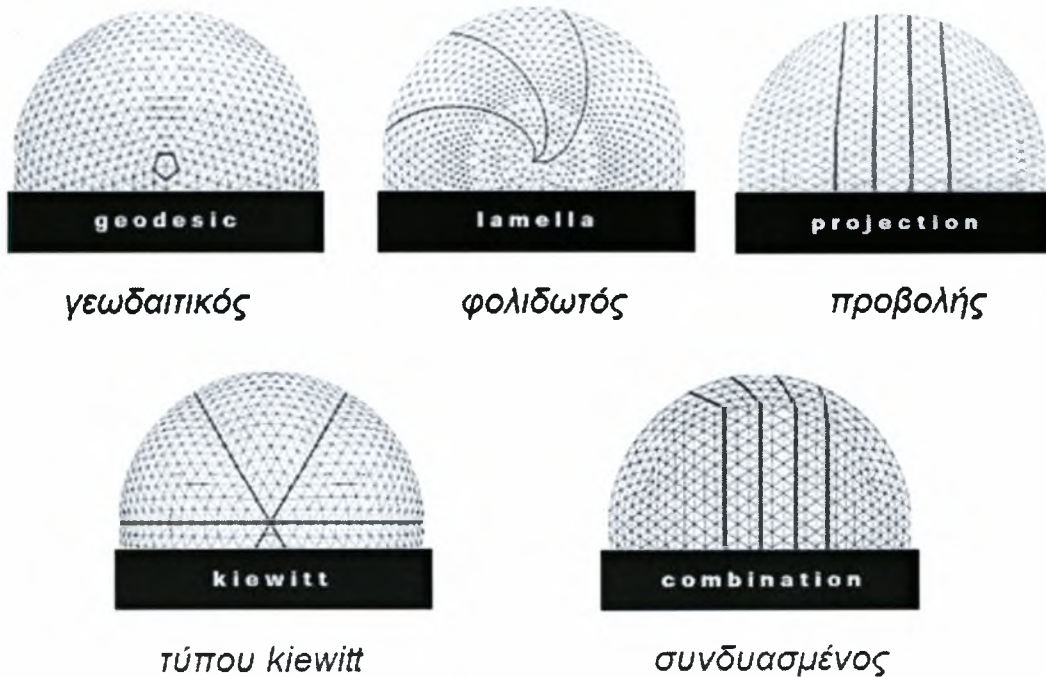
**Σχήμα 2.4** Τύποι ελεύθερων θόλων



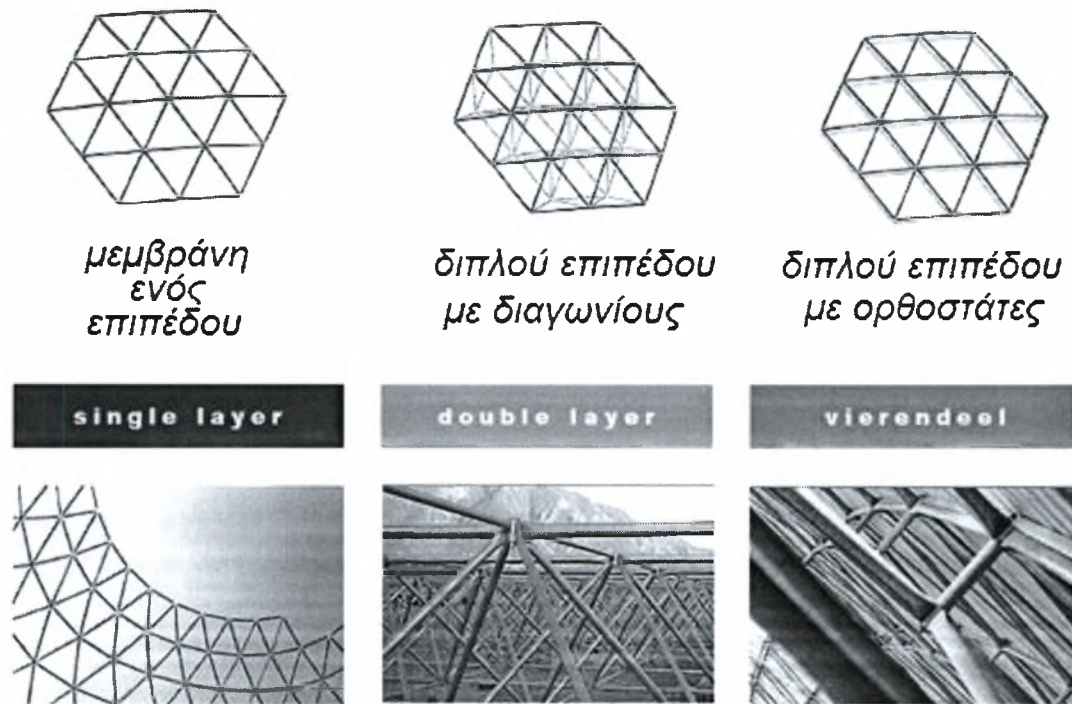
**Σχήμα 2.5** Τύποι υπερθόλων



**Σχήμα 2.6 Τρισδιάστατα δικτυώματα**



**Σχήμα 2.7 Κατάταξη θόλων ανάλογα της μορφής**

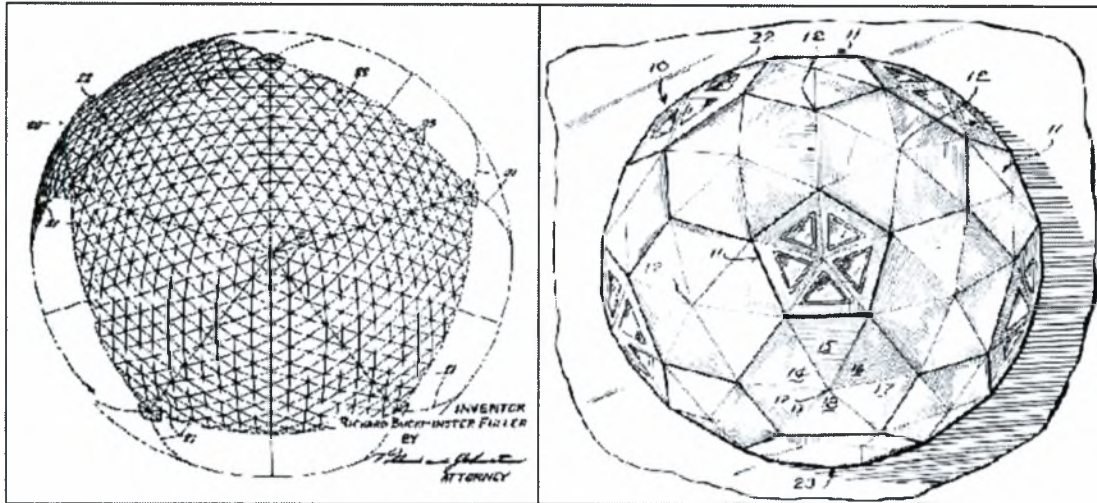


**Σχήμα 2.8 Κατάταξη θόλων ανάλογα του μέτρου**

## **B2. Γεωδαιτικοί θόλοι**

Ο ακριβής ορισμός ενός γεωδαιτικού θόλου αναφέρεται σε **μια θολωτή κατασκευή, η οποία αποτελείται από ελαφρά ευθύγραμμα μέλη, που σχηματίζουν αλληλοσυνδεόμενα τρίγωνα στο χώρο.**

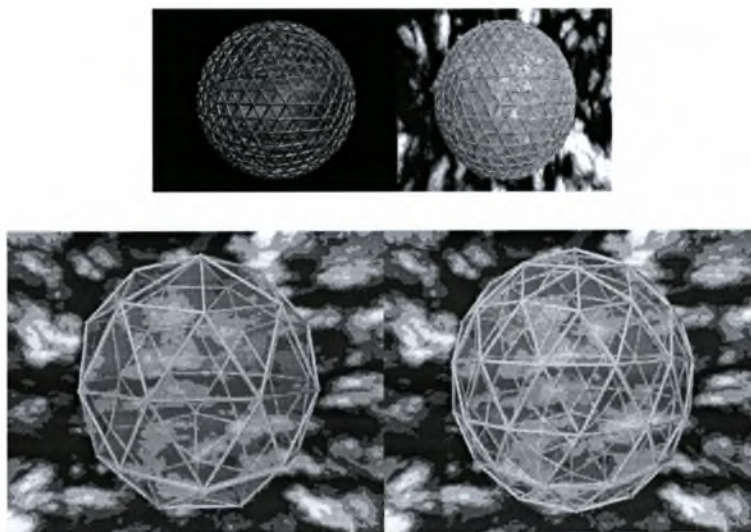
Αναλυτικότερα, η έννοια του γεωδαιτικού θόλου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον εφευρέτη τους, *φιλόσοφο, μαθηματικό, μηχανικό, ιστορικό και ποιητή* R. Buckminster Fuller, ο οποίος το 1951 πρώτος απέκτησε ευρεσιτεχνία ενός τέτοιου *ημισφαιρικού* θόλου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.9 Ο θόλος αυτός σχεδιάστηκε με βάση ένα εικοσάεδρο, προσθέτοντας ισοσκελή τρίγωνα γύρω από κάθε κορυφή του πολυέδρου και αλλάζοντας ελαφρά τις θέσεις των κορυφών αυτών.



**Σχήμα 2.9** Πρωτότυπα σχέδια του εφευρέτη των γεωδαιτικών θόλων

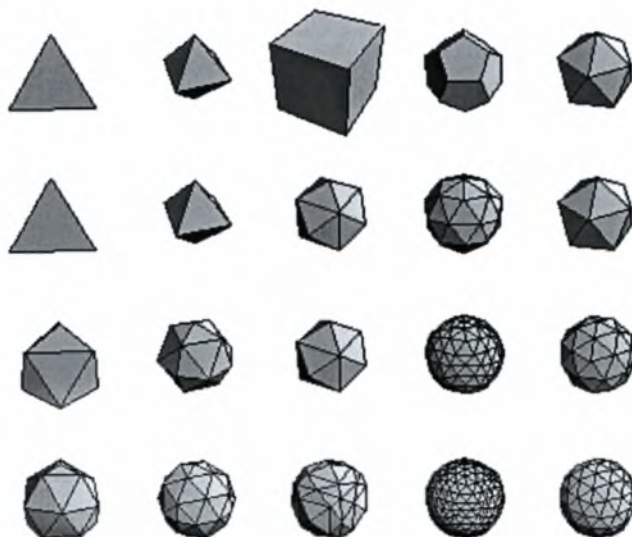
Μετά την ανακάλυψη του Fuller, στην οποία την εποχή που έγινε δόθηκε ελάχιστη σημασία, και μετά την άνθιση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, μια ολόκληρη επιστημονική περιοχή – **η συνεργετική** – ασχολείται με τις εφαρμογές των θόλων αυτών, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε κατασκευαστικό επίπεδο.

Μερικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών όντως εντυπωσιάζουν και τον αδαή, όπως χαρακτηριστικά καταδεικνύεται στο Σχήμα 2.10, που ακολουθεί.



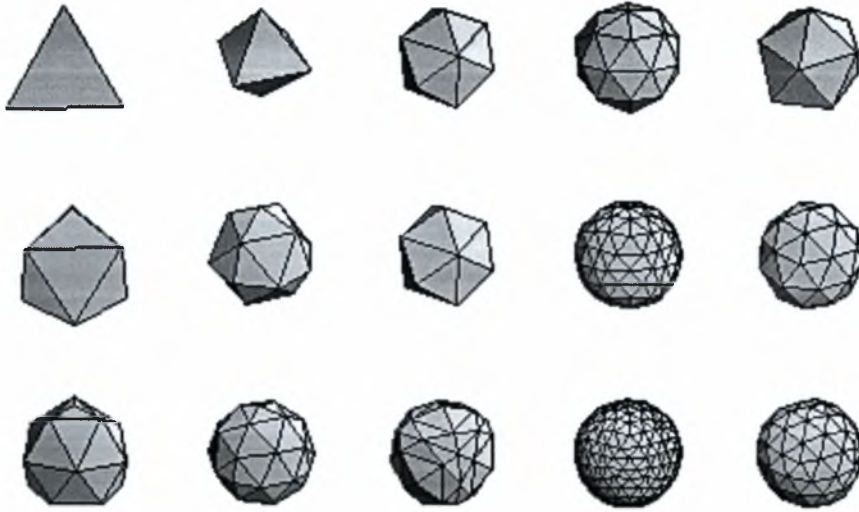
**Σχήμα 2.10** Φωτοσκιασμένες αναπαραστάσεις γεωδαιτικών θόλων

Από καθαρά στερεομετρικής πλευράς, ο τριγωνισμός (triangulation) ενός Πλατωνικού στερεού (τετραέδρου, κύβου, οκταέδρου, δωδεκαέδρου, εικοσαέδρου) ή κάποιου άλλου πολυέδρου, με σκοπό την ακριβή προσέγγιση μιας σφαίρας ή ενός ημισφαιρίου ήταν η αρχική ιδέα του Fuller. Η μετεξέλιξη της επαναστατικής αυτής ιδέας οδήγησε στη δυνατότητα σχεδιασμού οποιασδήποτε μορφής γεωδαιτικών θόλων και από άλλες κωνικές τομές (έλλειψη και παραβολή), καθώς πλέον η  $n$ -τάξης διαδικασία γωδαίτησης (geodesation) αντικαθιστά αυτόματα κάθε πολύγωνο του πολυέδρου με τη προβολή *στο περιγραμμένο εκ περιστροφής στερεό της κωνικής τομής* της  $n$ -τάξης κανονικής ψηφίδωσης (tessellation) του πολυγώνου αυτού. Στο Σχήμα 2.11 που ακολουθεί φαίνονται βασικά στερεά (πάνω σειρά) και γεωδαιτήσεις τάξης 1 έως 3 (από πάνω προς τα κάτω) των πέντε Πλατωνικών στερεών (από αριστερά προς τα δεξιά αρχής γενόμενης από το απλούστερο από αυτά) καθώς και μεγενθυμένη άποψη των γεωδαιτήσεων αυτών.



(a)

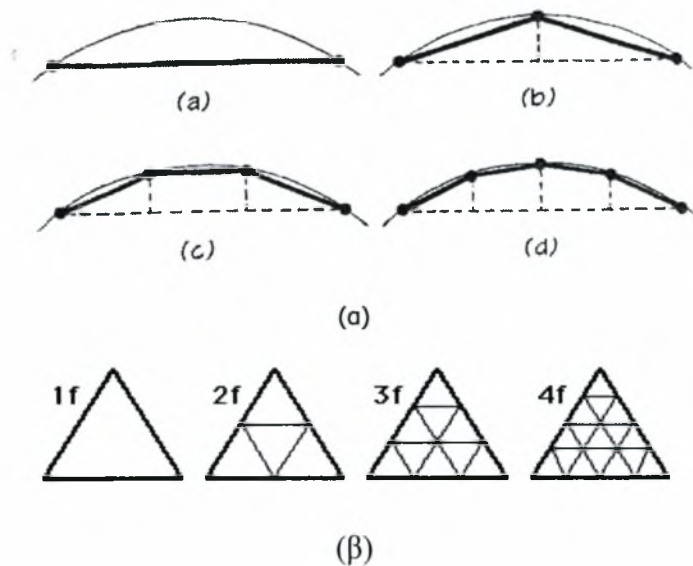




(β)

**Σχήμα 2.11 Εφαρμογή γεωδαιτικών θόλων από τα πλατωνικά στερεά τάξης 1, 2, 3**

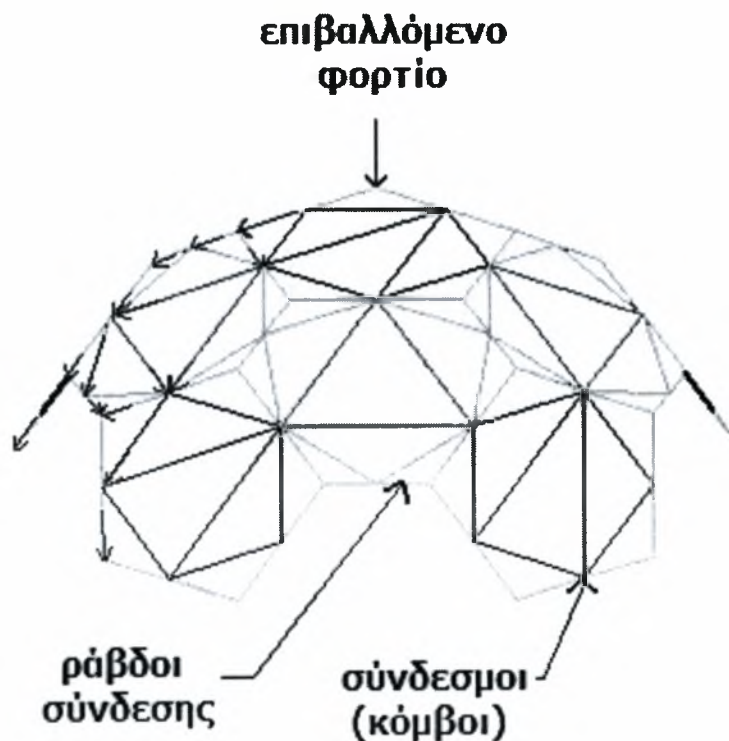
Από πλευράς ορολογίας, το βασικό χαρακτηριστικό ενός γεωδαιτικού θόλου, πέραν από το βασικό πολύεδρο, είναι η καλούμενη **συχνότητα  $f$** , η οποία ισοδυναμεί με την τάξη γεωδαιτήσης που αναφέρθηκε προηγούμενα, όπως επεξηγηματικά παρουσιάζεται και στο Σχήμα 2.12 (α, β).



**Σχήμα 2.12 Η έννοια της συχνότητας ενός γεωδαιτικού θόλου.**

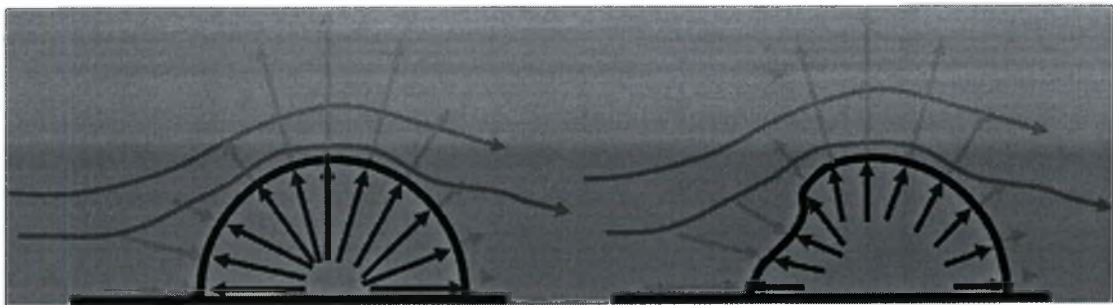
Από πλευράς στατικής λειτουργίας και τρόπου μεταφοράς των φορτίων, οι γεωδαιτικοί θόλοι σαν συνολική κατασκευή υπόκεινται σε κάμψη και στρέψη, πλην όμως τα επί μέρους στοιχεία τους (ράβδοι σύνδεσης και κόμβοι) δέχονται μόνο εφελκυσμό και θλίψη. Λόγω δε του γεγονότος ότι αποτελούνται από τρίγωνα, τα οποία από αρχαιστάτων χρόνων θεωρούνται ως οι πλέον ανθεκτικοί σε καταπονήσεις επίπεδοι γεωμετρικοί σχηματισμοί, οι γεωδαιτικοί θόλοι επιδεικνύουν αξιοθαύμαστη συμπεριφορά τόσο σε στατικά όσο και σε δυναμικά φορτία (του ανέμου συμπεριλαμβανομένου) και χάνουν δύσκολα την καθολική ευστάθειά τους (που θα ισοδυναμούσε με πλήρη κατάρρευση), λόγω του υψηλού βαθμού υπερστατικότητάς τους.

Τυπική αναπαράσταση του τρόπου κατανομής, ανάλειψης και μεταφοράς κατακόρυφων φορτίων στους θόλους αυτούς φαίνεται στο Σχήμα 2.13

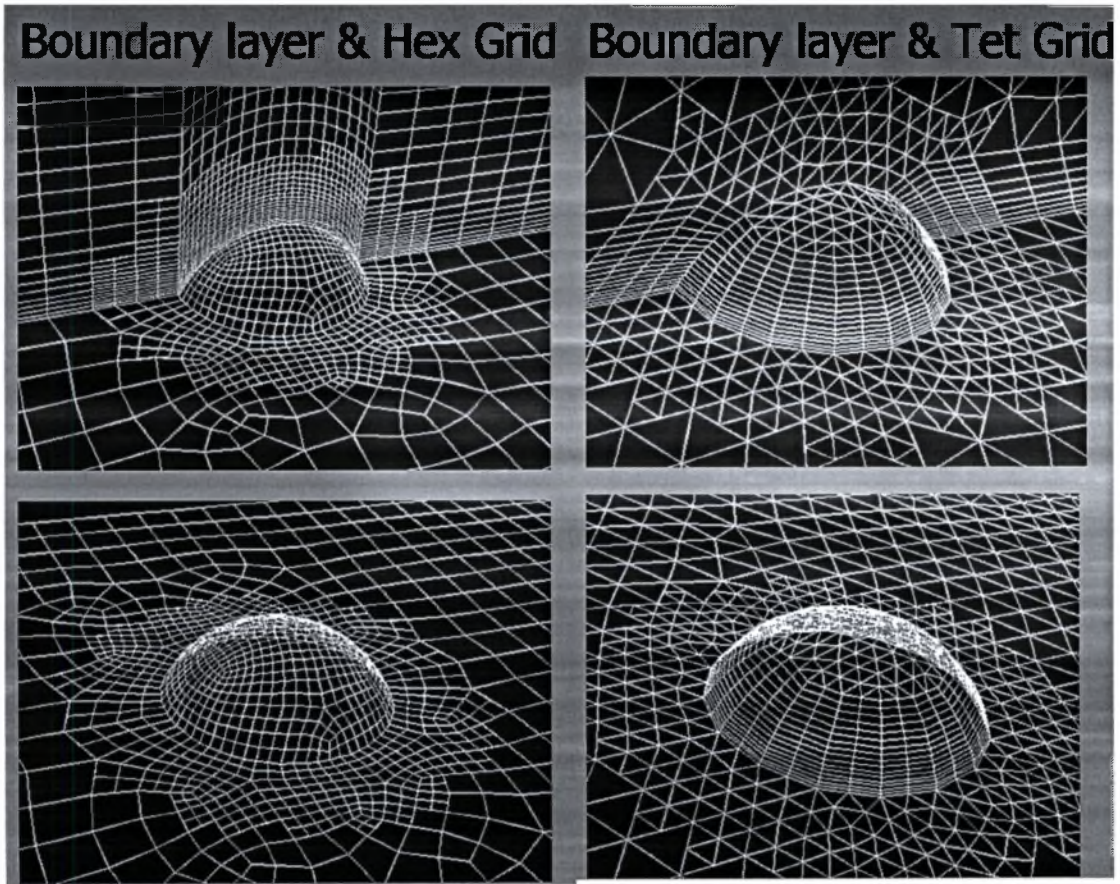


**Σχήμα 2.13** Μεταφορά κατακόρυφων φορτίων σε ένα γεωδαιτικό θόλο

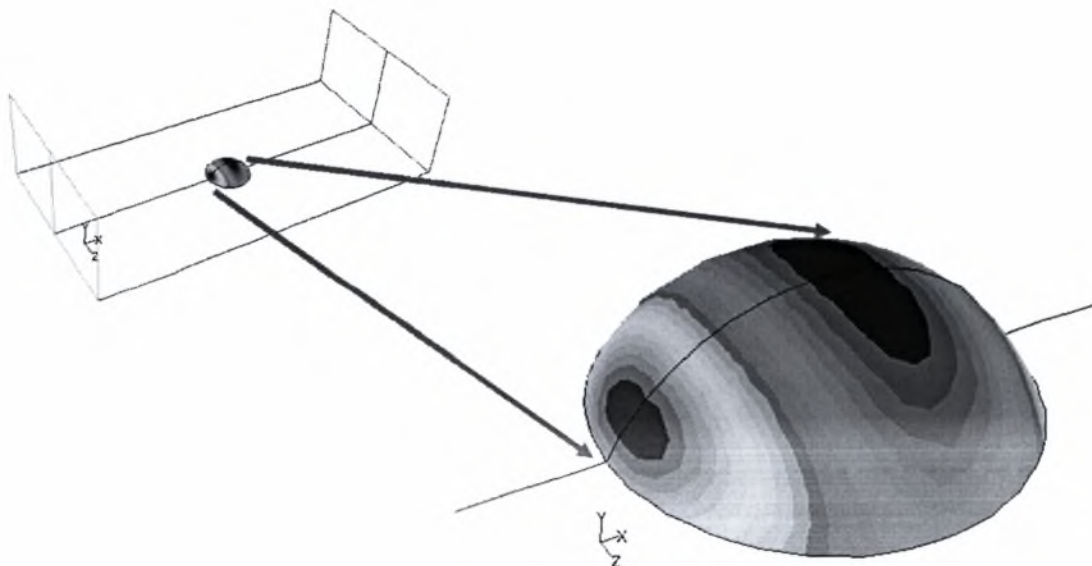
Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να δοθεί στη συμπεριφορά των γεωδαιτικών θόλων έναντι ανέμου. Μελέτες τόσο σε αεροσήραγγες όσο και με βάση αριθμητικά προσομοιώματα έχουν καταδείξει το μεγαλύτερο ίσως πλεονέκτημα των κατασκευών αυτών, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των λεγόμενων ομαλών (smooth) θόλων, που σχετίζονται με μεγάλη συχνότητα ( $f > 15$ ). Στο Σχήμα 2.14, το οποίο αποτελεί ευγενική χορηγία του περιοδικού διεθνούς κυκλοφορίας *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, φαίνονται μερικά από τα αποτελέσματα των μελετών αυτών.



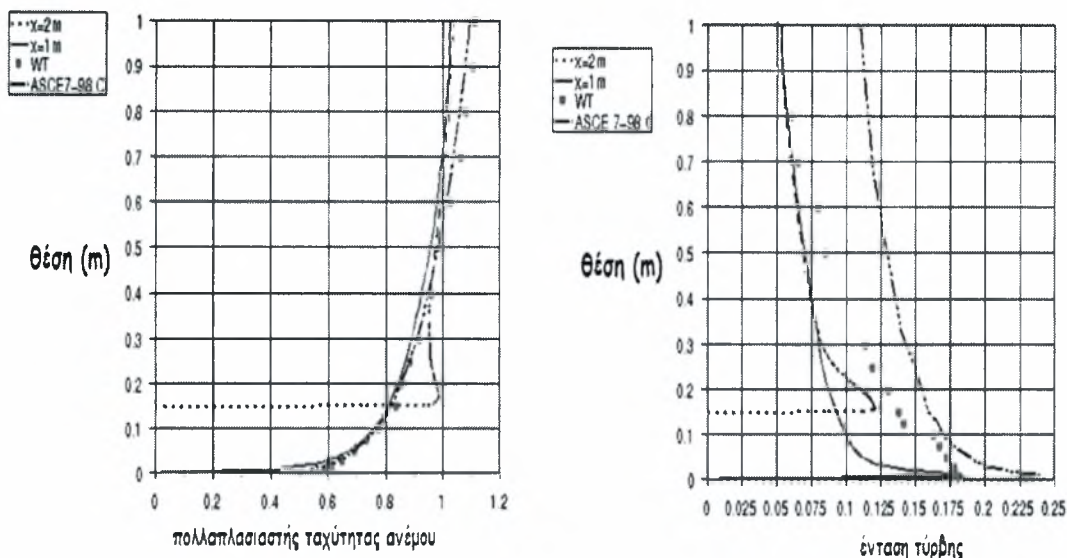
(α) Ροή του ανέμου



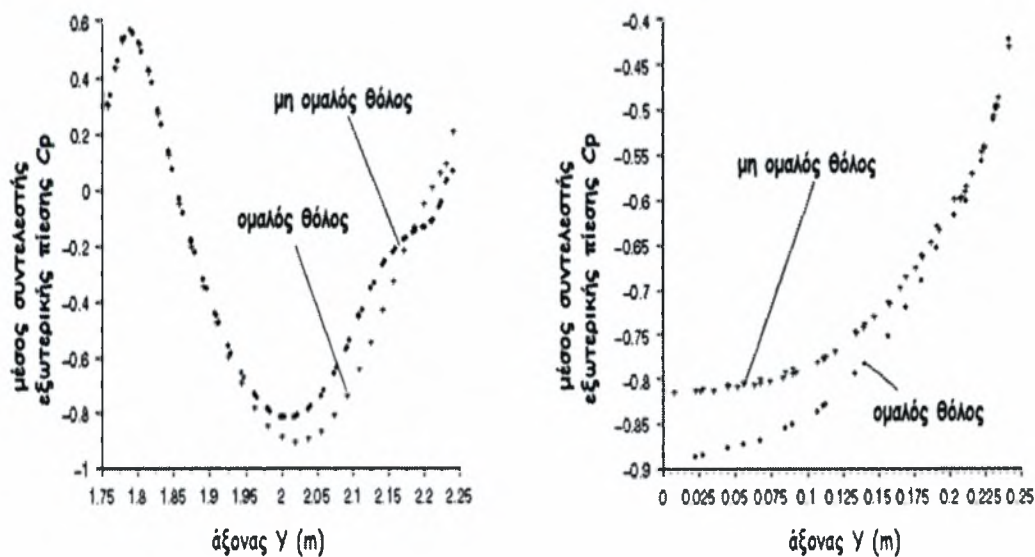
(β) Προσομοίωση του οριακού στρώματος



(γ) Αποτελέσματα προσομοιώματος ροής - ανεμοπίεση



(δ) Συγκριτικά διαγράμματα (WT = wind tunnel)



(ε) Συντελεστής εξωτερικής πίεσης

**Σχήμα 2.14** Ανεμοπίεση σε θόλους, πειραματικά και αριθμητικά αποτελέσματα (*Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*)

### **B3. Γεωδαιτικοί θόλοι και αλουμίνιο**

Ανάλογα με το αναγκαίο μέγεθος, τη χρήση αλλά και τις συνθήκες περιβάλλοντος, τα υλικά κατασκευής των γεωδαιτικών θόλων ποικίλουν, από το ξύλο και τους κλασσικούς χάλυβες ως τα κράματα αλουμινίου, το τιτάνιο και το βανάδιο. Αν κανείς αναλογιστεί ότι οι τελευταίες δύο λύσεις είναι εξεζητημένες και κύρια αναφέρονται σε κατασκευές του μέλλοντος (η NASA έχει αναπτύξει την τελευταία δεκαετία ένα φιλόδοξο ερευνητικό πρόγραμμα για κατασκευές κατοικιών σε πλανήτες με μικρή βαρύτητα, όπου κυριαρχεί η μορφή του γεωδαιτικού θόλου με χρήση μετάλλων υψηλής αντοχής και κραμάτων αλουμινίου-λιθίου) ο χάλυβας και τα κράματα αλουμινίου αποτελούν τα δύο πλέον ανταγωνιστικά υλικά, όπως άλλωστε και για κάθε άλλου είδους τρισδιάστατη-θολωτή κατασκευή.

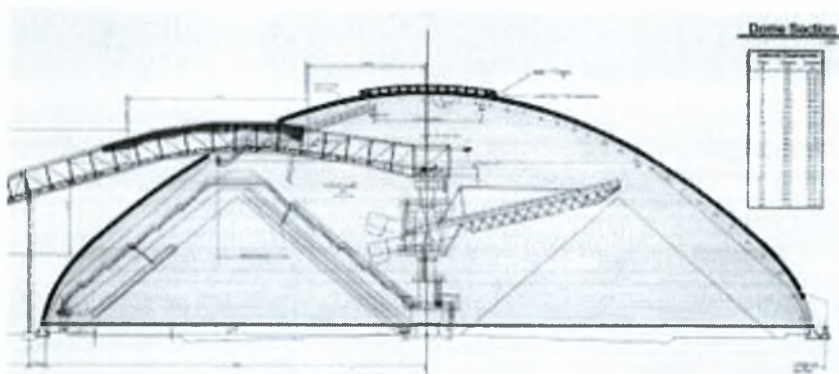
Με βάση τη σύγκριση αλουμινίου – χάλυβα του Κεφαλαίου 1, οι θολωτές κατασκευές από κράματα αλουμινίου υπερτερούν όταν εφαρμόζονται σε συνθήκες ιδιαίτερα διαβρωτικού περιβάλλοντος και σε περιπτώσεις που υπάρχει ανάγκη είτε αποθήκευσης υλικών με αναθυμιάσεις είτε κάλυψη μεγάλων ελευθέρων ανοιγμάτων όπου εσωτερικά υφίσταται συσσώρευση υδρατμών ή πιθανότητα έκλυσης διαβρωτικών αερίων όπως π.χ. υδροξείδιο του θείου. Συνεπώς αποτελούν την ιδεώδη λύση για κλειστά γυμναστήρια, κολυμβητήρια και για χώρους αποθήκευσης υλικών όπως τσιμέντο, άνθρακας και άλλα ιδιαίτερα διαβρωτικά απλά ή σύνθετα υλικά.

Επιβεβαίωση των ανωτέρω αποτελούν οι δύο πανομοιότυποι μεγαλύτεροι σε παγκόσμια κλίμακα θόλοι από κράματα αλουμινίου. Πρόκειται

για τους **γεωδαιτικούς θόλους** αποθήκευσης λιγνίτη για λογαριασμό της εταιρείας HPC (Ho-Ping Power Company), για τη λειτουργία σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 1320MW στο Ho-Ping της ανατολικής ακτής της νήσου Ταϊwan. Με σκοπό την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας μόλυνσης του περιβάλλοντος κατασκευάστηκαν δύο σφαιρικοί γεωδαιτικοί θόλοι διαμέτρου 145 m έκαστος, για την αποθήκευση 139,000 τόνων λιγνίτη σε κάθε έναν από αυτούς. Δοθέντος του ιδιαίτερα διαβρωτικού παραθαλάσσιου περιβάλλοντος, θεωρήθηκε επιβεβλημένη η χρήση κραμάτων αλουμινίου ως κύριου δομικού υλικού.

Λόγω του υπαρκτού κινδύνου πιθανής πυρκαϊάς, εκρήξεων, συσσώρευσης αερίων κλπ. πέραν από την κατεξοχήν στατική και δυναμική μελέτη αντοχής, υπήρξε η ανάγκη σύνταξης επιπρόσθετης μελέτης κινδύνου και λειτουργικότητας (Hazard and Operability Study), ενώ μια απρόβλεπτη μορφή κινητού φορτίου (στάχτη άνθρακα πάνω στις ράβδους του θόλου) σε περίπτωση επικάλυψης εξωτερικά, οδήγησε στη λύση επικάλυψης εσωτερικά του θόλου.

Από πλευράς στατικού συστήματος και σχήματος, υιοθετήθηκε τελικά η μορφή παραβολικού στερεού διπλής καμπυλότητας με λόγο κεντρικών αξόνων κάτοψης 2/3 και διπλής στρώσης Vierendeel αυτοτελή συνδεόμενα τμήματα μήκους εκάστου 1.7 και ύψους 0.50 m, σύμφωνα με την ακόλουθη τομή (Σχήμα 2.15).



**Σχήμα 2.15 Χαρακτηριστική τομή γεωδαιτικού θόλου HPC**

Οι θόλοι μελετήθηκαν με βάση τις προβλέψεις του και τους συνδυασμούς φόρτισης της American Uniform Building Code (UBC) και της Aluminium Association. Τα κύρια φορτία σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: Κινητό φορτίο  $59 \text{ kgf/m}^2$ , Ταχύτητα ανέμου  $212 \text{ km/h}$ , Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας 4. Οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί φορτίσεων αποδείχτηκε ότι ήταν αυτοί που συμπεριελάμβαναν τον άνεμο, όπου ένα κατανεμημένο φορτίο μεγαλύτερο από  $300 \text{ kg/m}^2$  υφαρπαγής (uplift) στο άνω μέρος των θόλων έπρεπε να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς. Η τελική κατανομή της ανεμοπίεσης έγινε σύμφωνα με αποτελέσματα πειραμάτων σε σήραγγα, ενώ όλα τα δομικά στοιχεία (ράβδοι και κόμβοι) τελικά επελέγησαν από κράμα αλουμινίου σειράς AA600, οι δε διατομές των ράβδων (χρησιμοποιήθηκαν περίπου 180000) κατασκευάστηκαν σωληνωτές με διαμέτρους από 50 έως 100 mm με πάχος τοιχώματος 3mm. Το ίδιο βάρος της κατασκευής τελικά, μετά την ανέγερση υπολογίστηκε ίσο με  $21 \text{ kgf/m}^2$ . Στη συνέχεια παρατίθενται μερικές κατατοπιστικές αλλά και άκρως εντυπωσιακές φωτογραφίες του όλου έργου (Σχήμα 2.16).







**Σχήμα 2.16** Απόψεις του γεωδαιτικού θόλου HPC

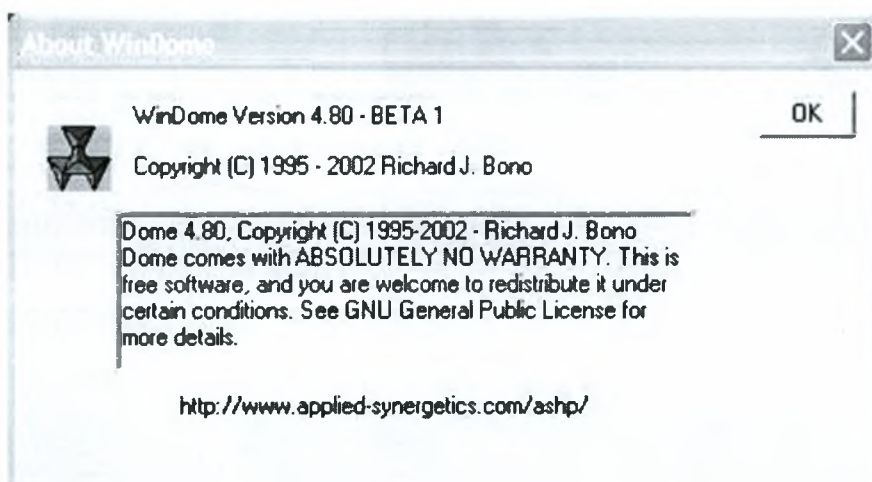
#### **B4. Λογισμικό για το σχεδιασμό γεωδαιτικών θόλων**

Η γεωμετρία, η τρισδιάστατη απεικόνιση και κατ' επέκταση ο σχεδιασμός ενός γεωδαιτικού θόλου μεγάλων διαστάσεων και συχνότητας, σύμφωνα με όλα τα ανωτέρω εκτεθέντα, είναι αδύνατο να επιτευχθεί με χρήση γενικών σχεδιαστικών προγραμμάτων (λογισμικού) τρισδιάστατων γραμμών, επιφανειών και στερεών, καθόσον σε μια τέτοια περίπτωση ο αριθμός κόμβων και μελών είναι τεράστιος, αλλά κυρίως λόγω του γεγονότος ότι η επαναληπτική διαδικασία διαίρεσης των αρχικών *Πλατωνικών* στερεών και εν συνεχεία σύνδεσης των τριγωνικών στοιχείων του θόλου απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις (LISP), απαγορευτικές για τον Μηχανικό της καθημερινής πράξης.

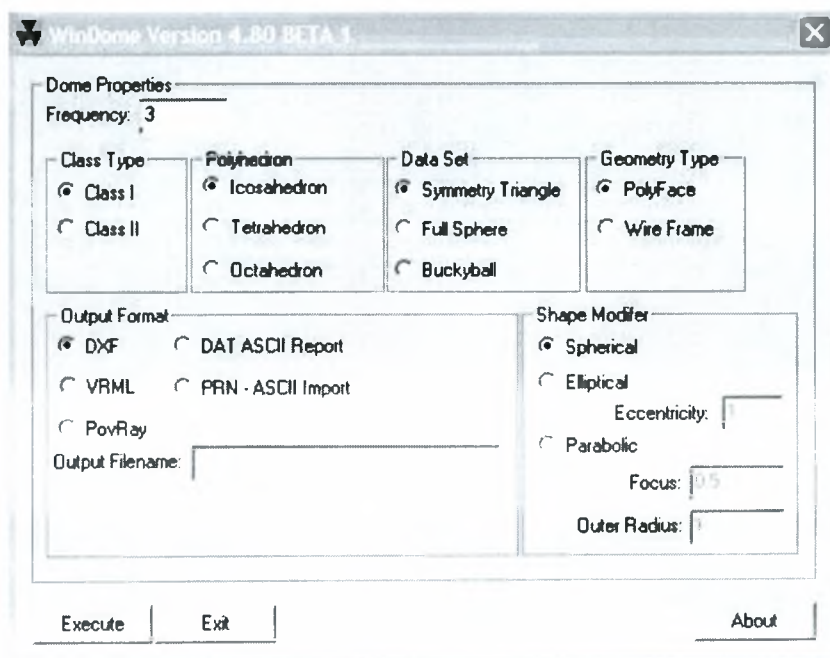
Για τους παραπάνω λόγους έχουν αναπτυχθεί ειδικές εφαρμογές – προγράμματα για το σχεδιασμό γαιωδαιτικών θόλων, τα οποία μπορούν να δώσουν ταχύτατα ακριβή αποτελέσματα σε αρχεία τύπων XLS, ASCII, Binary

αλλά κυρίως DXF, τα οποία στη συνέχεια είναι εύκολα επεξεργάσιμα από γενικά σχεδιαστικά και άλλα συναφή προς την επιστήμη του μηχανικού πακέττα στατικής και δυναμικής ανάλυσης.

Σε ότι ακολουθεί, γίνεται χρήση του Freeware (ελεύθερης χρήσης) προγράμματος **WinDome**, στοιχεία του οποίου παρατίθενται στο Σχήμα 2.17, η γραφική δε απεικόνιση του παραθύρου επικοινωνίας (user interface) του WinDome με το χρήση παρατίθεται στο Σχήμα 2.18



**Σχήμα 2.17 Πληροφορίες για το πρόγραμμα WinDome (στην Αγγλική)**



**Σχήμα 2.18 User Interface του προγράμματος WinDome**

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι ιδιαίτερα εύχρηστο, ταχύ και δύναται άμεσα να αναπαράγει την ακριβή γεωμετρία σφαιρικών, ελλειπτικών και παραβολικών γεωδαιτικών θόλων οποιασδήποτε συχνότητας, όπως προκύπτει από τα επεξηγηματικά στοιχεία του Σχήματος 2.19α,β

Geodesic Dome Design, WinDome  
Version 4.8.0, October 8, 2002

---

#### What is DOME?

DOME is a program which calculates the properties of a geodesic dome symmetry triangle. DOME calculates spherical vertex coordinates, symmetry triangle topological abundance, and chord factors. DOME supports class I (alternate) and class II (triacos) breakdowns for Icosahedron, Octahedron, and Tetrahedron polyhedron types. DOME also supports "Buckyball" formations as well as elliptical geodesics and geodesic parabolic dishes.

---

#### Why DOME?

WinDome is a Windows version of the original command-line DOME program. DOME began as a set of geodesic math test algorithms for use in investigating properties of geodesic and geodesic structures. This continues to be the main purpose of my development of the DOME code. DOME should serve as a basic tool for those interested in geodesic dome design and modeling. All source code is also included in this package and is freely modifiable under the conditions of the [GNU General Public License](#).

---

#### File Formats

DOME currently supports five file formats:

- DXF - DXF face data which can be input into most computer aided design packages. Each polyhedron face is saved on a separate level if spherical dome generation is requested. DXF data for Buckyballs are saved as LINE data. The default DXF data for all other structures is 3D POLYFACE data. This can be changed to LINE data with the -w option. Note that not all applications support DXF line data. In these cases, use polyface instead.
- DAT - An ASCII report format. Shows only symmetry triangle parameters. This format displays chord factors, face angles and axial angles. Not available for Buckyballs.
- PRN - An ASCII comma delimited format. Contains vertex coordinates and chord coordinate data. Suitable for parsing into custom routines and spreadsheets. Only data for the symmetry triangle is saved. Not available for Buckyballs.
- POV - POV-ray script file. Generates spheres for vertices, cylinders for chords and triangles for faces. Faces are not saved when using the Buckyball option. The POV script consists of two files. The .POV file contains the scene description while the dome.txt file contains the dome geometry. Note that DOME references 'up' as the z-axis while POV references the y-axis. The Sky statement in the camera definition compensates for this.
- VRL - VRML file for use with a VRML enabled browser such as the Corona plugin from ParallelGraphics. Only wire-frame output is available with Buckyball option. WinDome supports the VRML2 Specification.

---

#### Elliptical Structures

DOME allows the creation of elliptical geodesic structures. The -e switch enables this feature. The 'e' parameter is the elliptical eccentricity. This value is simply the ratio of the ellipse major axis to ellipse minor axis. A circle has an eccentricity of 1.0. Dome allows eccentricity values greater than 0.0 but less than 2.0. An eccentricity less than 1.0 results in an ellipse having a semimajor axis = 1.0 and aligned along the x-axis. Likewise, an eccentricity greater than 1.0 results in an ellipse having a semimajor axis = 1.0 and major axis aligned along the z-axis.

---

#### Parabolic Structures

WinDome now includes functions which allow the design of geodesic parabolic dishes. Select the parabolic radio button and then specify the focus and radius of the dish.

The parabolic functions work with:

- Class I or Class II geodesic
- All supported polyhedron types.

The following restrictions apply to the use of parabolics:

- A DXF filename must be included with the parabolic switches.
- The -w wireframe option should not be used.
- The ratio of focal length to dish diameter (f/d) must be greater than or equal 0.25.
- No other output file type aside from the 3DFACE DXF file is supported at this time.
- Frequency is based on a spherical formation. Large values of f/d will reduce the number of faces used in the structure. Compensate by further increasing the frequency.

WinDome produces a DXF file containing the dish face data and an ASCII text file named parabolic.txt containing the raw data for each face.

The following data is output:

- Index data for each triangle vertex (A, B, C in map file)
- Chord lengths for each triangle side (a, b, c)
- Face angles (A, B, C)

This data is given for each polyhedron face. In the case of the class I icosahedron 20 faces will be output. The class II structure will use up to 40 triangles. Many of these faces may not contain data as this is dependent on the truncation used.

The units used for the focus location will determine the units of chord length. If -dd is used where d is the focal length in feet, then the chord lengths will be output in feet as well. The parabolic.txt file is designed to be read by a spreadsheet application such as Microsoft Excel. When importing this file into a spreadsheet, set the field delimiter to tab, the text delimiter to " and make sure that the first three columns are read as text fields.

(a)

**Source Code Comments**

Releases of DOME prior to 4.0 had all the source code in one file. DOME 4.60 has the source code split across several files:

Releases of DOME prior to 4.0 had all the source code in one file.

DOME & WinDome 4.80 has the source code split across several files:

- dome.txt - this file
- dome.cpp - Source code for main program loop.
- geodesic.h - Header file containing variables, structures and class member function prototypes.
- geodesic.cpp - Source code for geodesic class member functions. Most of the work is done by these routines.
- dxfsave.cpp - Geodesic class DXF save routines.
- povsave.cpp - Geodesic class POV save routines.
- wrtsave.cpp - Geodesic class WRL (VRML) save routines.
- cartesian.cpp - Cartesian & spherical coordinate conversion & data structures
- cartesian.h - header for cartesian.cpp
- chords.cpp - class containing chord data structures
- chords.h - header for chords.cpp
- command.cpp - class implementing input parameter data structures
- command.h - header for command.cpp
- faces.cpp - class containing triangle face data structures
- faces.h - header for faces.cpp
- labels.cpp - class containing vertex label data structures
- labels.h - header for labels.cpp
- points.cpp - class containing vertex position data structures
- points.h - header for points.cpp
- Theta Truncation.cpp - class for collecting truncation data
- Theta Truncation.h - header for Theta Truncation.cpp

WinDome also includes the Visual C++ 5.0 project files for the GUI.

(β)

## Σχήμα 2.19 Δυνατότητες - πρόσθετα στοιχεία του προγράμματος WinDome

(στην Αγγλική)

### **B5. Κόμβοι και συστήματα σύνδεσης και επικάλυψης νεωδαιτικών**

#### **θόλων από αλουμίνιο : Γενικά στοιχεία - κατασκευαστικές**

##### **Λεπτομέρειες**

Ανά την υψηλίο και στη διεθνή αγορά υπάρχουν πολλές εταιρείες παραγωγής ράβδων από κράματα αλουμινίου, η απαρίθμηση των οποίων εκφεύγει των σκοπών της παρούσας εργασίας. Για λόγους καθαρά ενημερωτικούς, στο τέλος παρατίθεται το Παράρτημα «Α», που περιέχει ορισμένους Πίνακες σωληνωτών διατομών από κράματα αλουμινίου, καθόσον τέτοιου τύπου ράβδοι θα χρησιμοποιηθούν για ο σχεδιασμό της κατασκευής η οποία αποτελεί το κυρίως αντικείμενο της Διπλωματικής.

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, ένας πολύ περιορισμένος αριθμός εξειδικευμένων οίκων ασχολείται **αποκλειστικά** με την εκμετάλλευση των

κραμάτων αυτών για τη μελέτη, σχεδιασμό και ανέγερση τρισδιάστατων κατασκευών, και ιδιαίτερα θόλων, με αναγνωρισμένης αξίας και ανταγωνιστικότητας συστήματα σύνδεσης, επικαλύψεις και μονώσεις.

Η κορυφαία ίσως εταιρεία που συνδυάζει όλα τα ανωτέρω είναι η Starnet International (Σχήμα 2.20, με έδρα τη Florida των ΗΠΑ ([www.starnetint.com](http://www.starnetint.com))).



**Σχήμα 2.20 Λογότυπο της Starnet International**

με αντιπροσωπευτικό έργο το καλούμενο Universal Dome, φωτογραφία του οποίου παρατίθεται κατωτέρω (Σχήμα 2.21):



**Σχήμα 2.21 Άποψη του Universal Dome**

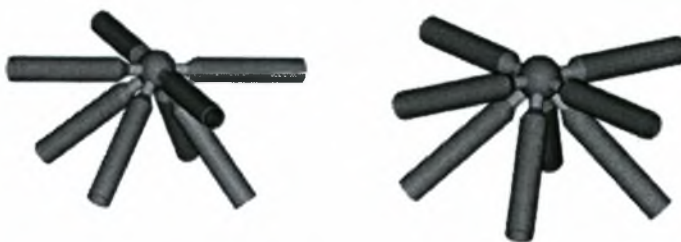
Η εν λόγω εταιρεία έχει εφεύρει και χρησιμοποιεί τρία είδη τρισδιάστατων κόμβων χωρικών κατασκευών από αλουμίνιο, που φαίνονται στο Σχήμα 2.22(α, β, γ).



Geo\*Hub



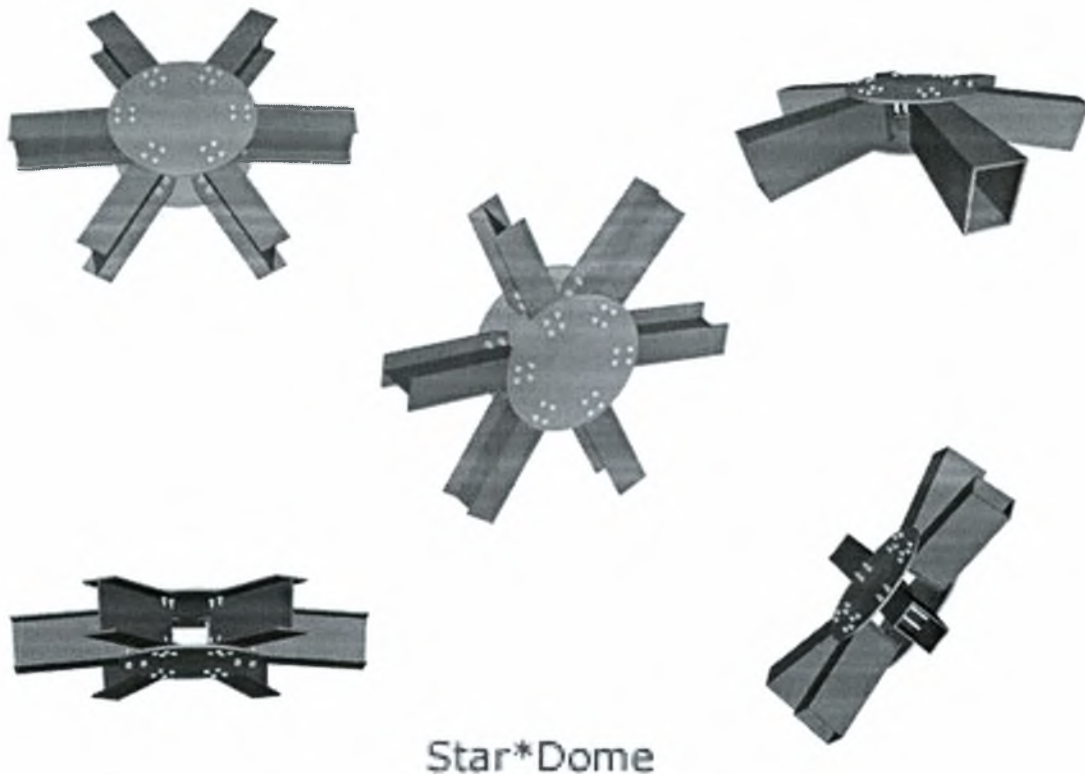
(a)



Omni\*Hub



(β)



(γ)

**Σχήμα 2.22** Οι τρεις τύποι κόμβων τρισδιάστατων κατασκευών από κράματα αλουμινίου της εταιρείας *Starnet International*.

Αναλυτικότερα, για το κάθε ένα από τα παραπάνω είδη ισχύουν τα εξής:

### **Σύστημα Geo\*Hub**

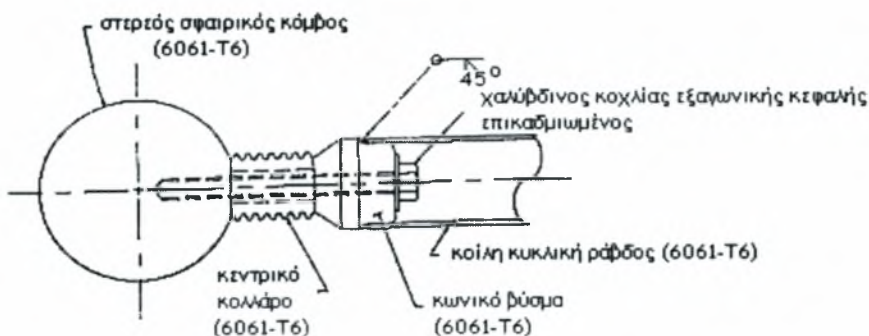
Το σύστημα αυτό (Σχ.2.22α) αποτελείται από ένα, δύο, τρία ή και περισσότερα τεμάχια από κράμα αλουμινίου 6061-T6 παρόμοιας εξόλκευσης. Το κάθε επί μέρους τεμάχιο διαθέτει στερεό πυρήνα και τέσσερα ζεύγη διάτρητων ώτων. Ο κόμβος υλοποιείται με σύνδεση των τεμαχίων υπό γωνία  $45^{\circ}$  μεταξύ τους, ώστε να δεχθούν τις εκεί συντρέχουσες ράβδους. Οι εν λόγω τάβδοι είναι ορθογωνικές ή κυκλικές κοίλες διατομές από το ίδιο κράμα αλουμινίου ως άνω με εξόλκευση. Συνδέονται με τα ώτα του κόμβου μέσω ήλων (Star\*Pins) και εκτείνονται μέχρι το στερεό κέντρο-πυρήνα του κόμβου,



οι δε ήλοι δεν εκτείνονται πέραν των δύο πλευρών των ώτων με αποτέλεσμα ένα λείο και καθαρό τελείωμα.

### **Σύστημα Omni\*Hub**

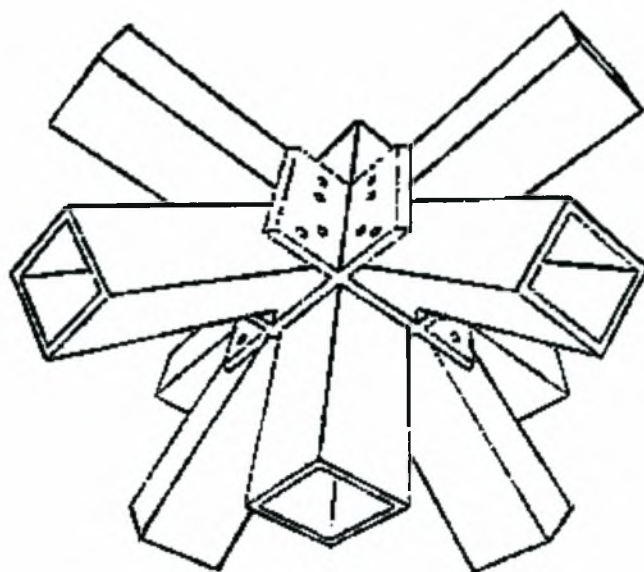
Το σύστημα αυτό (Σχ.2.22β) χρησιμοποιεί στερεούς σφαιρικούς κόμβους από κράμα αλουμινίου 6061-T6, στους οποίους ανάλογα με την επιθυμητή γεωμετρία ανοίγονται οπές και διαμορφώνονται σπειρώματα. Κάθε ράβδος που συντρέχει στο κόμβο φέρει στα άκρα της κοχλιωμένα ή συγκολλημένα στερεά κωνικά βύσματα από το ίδιο κράμα αλουμινίου. Οι σφαιρικοί κόμβοι συνδέονται με τις ράβδους μέσω επικαδμιωμένων (ή επιψευδαργυρωμένων) χαλύβδινων κοχλιών με εσοχή. Ο κοχλίας στο κάθε άκρο της ράβδου βιδώνεται στο σφαιρικό κόμβο περιστρέφοντας το κυκλικό κολλάρο μέχρι το εσωτερικό περικόχλιο να σφίχτει πάνω στο εσωτερικό του κωνικού βύσματος. Έτσι, ο μεν κοχλίας μεταφέρει στο κόμβο εφελυστικές δυνάμεις από τις ράβδους, το δε κολλάρο θλιπτικές. Η όλη διάταξη, με το όνομα *Omni\*Centric* φαίνεται στο Σχήμα 2.23, και πέραν της υψηλής αντοχής και αναμφισβήτητης λειτουργικότητας της, αποτελεί μια ιδιαίτερα ελκυστική αρχιτεκτονική λύση χωρίς ορατά επί μέρους τεμάχια ή εξαρτήματα σύνδεσης.



**Σχήμα 2.23. Κόμβος Omni\*Centric**

### **Σύστημα Star\*Dome**

Πρόκειται για σύστημα κόμβου με δύο παράλληλα ελάσματα, που επιτρέπει μεγάλο εύρος επιλογής σε μέγεθος, διάμετρο και πάχος των συνδεομένων επί μέρους στοιχείων (Σχ.2.22γ). Κατ' αρχή κατασκευάζονται διάτρητες (με σκοπό την εκεί αρθρωτή σύνδεση των συντρεχουσών ράβδων) κυκλικές επίπεδες πλάκες, και στη συνέχεια λαμβάνουν τη τελική μορφή τους σε μεγάλες υδραυλικές πρέσες. Οι ράβδοι σύνδεσης μπορεί να είναι κοίλες ορογωνικές ή κυκλικές καθώς και διατομής I, ανάλογα με τη γεωμετρία, το είδος της επικάλυψης, τα φορτία και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της όλης κατασκευής. Το υλικό όλων των επί μέρους τεμαχίων είναι κράμα αλουμινίου 6061-T6, ενώ μια παραλλαγή του συστήματος (με δυνατότητα σύνδεσης ράβδων μόνο τετραγωνικών ή κυκλικών κοίλων διατομών, αλλά με ιδιαίτερη εφαρμογή σε τρισδιάστατες πλαίσιωτές κατασκευές) είναι το σύστημα *Star\*Cube*, που αναπαρίσταται κατωτέρω:



**Σχήμα 2.24 Κόμβος συστήματος Star\*Cube**

Όλα τα ανωτέρω συστήματα δύνανται να συνδυαστούν με διαφόρων τύπων επικαλύψεις, όπως ακρυλικά φύλλα, πολυκαρβονικά φύλλα, μεταλλικά πάνελς, σύνθετα πάνελς με μόνωση, υφάσματα-μεμβράνες, κόντρα πλακέ κλπ., ενώ συμπληρώνονται και με διάφορα ειδικά τεμάχια και άλλα εξαρτήματα (τεγίδες, διαχωριστικά, φεγγίτες, υδρορροές).

Από πλευράς τελικής εμφάνισης οι ράβδοι και τα υπόλοιπα τεμάχια από τα κράματα αλουμινίου είτε έρχονται εργοστασιακά έτοιμα (mill finishing) είτε η τελική τους επιφάνεια βάφεται. Η κυριότερη βαφή που εφαρμόζεται είναι η λεγόμενη βαφή Kynar, με εκπληκτικά αισθητικά αποτελέσματα, ενώ επίσης ευρύτατα χρησιμοποιούνται ακρυλικές ή βαφές πολυστερικής κόνεως.

Τέλος δέον όπως επιγραμματικά αναφερθούν οι σπουδαιότερες μέθοδοι ανέγερσης θολωτών και εν γένει τρισδιάστατων δικτυωτών κατασκευών που έχουν ως εξής:

- *Μέθοδος γερανού* (crane method)
- *Μερική συναρμολόγηση* (Partial assembly)
- *Επί τόπου συναρμολόγηση* (Assembly in place)
- *Μέθοδος κατακορύφωσης* (Tile-up method)
- *Μέθοδος A-Frame*
- *Μέθοδος ανυψωτικών πύργων* (Tower Jack method)
- *Μέθοδος ανυψωτικής περόνης* (Forklift method)
- *Μέθοδος αερόσακων* (Air Jack method)
- *Μέθοδος αυτοδιόγκωσης* (Self Inflation method)
- *Μέθοδος ελικοπτέρου* (Helicopter method)

## **B6. Ακολουθία συναρμολόγησης και ανέγερσης θόλων**

Υφίστανται τρεις βασικοί τρόποι για τη συναρμολόγηση ενός θόλου: «Μεσαίας τομής – πάνω – κάτω» (Mid-Section Up and Down), «Βάσης προς τα άνω» (Bottom - Up) και «Κορυφής προς τα κάτω» (Top - down).

1. Ένα από τα πρώτα σημεία που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη όσον αφορά τη μέθοδο συναρμολόγησης ενός θόλου είναι ποιά ή ποιές αλληλουχίες είναι εφικτές ή/και προφανείς. Τυπικά, οι επιλογές του παρελθόντος ήταν ο δεύτερος ή ο τρίτος από τους προαναφερθέντες τρόπους. Αντίθετα ο πρώτος τρόπος άρχισε πρόσφατα να εφαρμόζεται, χαρακτηριστικά δε αναφέρεται ότι η παρθενική εφαρμογή του έγινε για την ανέγερση ενός από τις πλέον ασυνήθιστες θολωτές κατασκευές παγκόσμια, το Spaceship Earth Dome, τη νέα κύρια είσοδο των εγκαταστάσεων της Walt Disney's EPCOT στο Orlando, Florida των ΗΠΑ.

2. Ο δεύτερος τρόπος «Βάσης προς τα άνω» έχει το πλεονέκτημα της μη ανύψωσης συνεχώς αυξανόμενου βάρους μερών της κατασκευής, καθώς ο θόλος συναρμολογείται. Με τον τρόπο αυτό μια αρκετά μεγάλη θολωτή μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση ενός μόνο μικρού γερανού και κινούμενων πλατφορμών, που μεταφέρουν τους εργατοτεχνίτες στα σημεία συναρμολόγησης.

3. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου «κορυφής προς τα κάτω» είναι ευκολία στην ανέγερση, ταχύτητα και ασφάλεια. Περιορίζεται όμως η εφαρμογή της σε κείνες τις κατασκευές που μπορούν να ανυψωθούν. Πρώτα κατασκευάζεται η κορυφή (apex) του θόλου και προστίθεται στη συνέχεια η επόμενη προς τα κάτω σειρά. Τούτο επιτρέπει την *ταχύτατη συναρμολόγηση*

*σχετικά ελαφρών θόλων από αλουμίνιο μεγάλων ανοιγμάτων.* Αποφεύγονται δε και οι κίνδυνοι σφαλμάτων ολίσθησης καθώς η συναρμολόγηση οδηγεί συνέχεια προς τα έξω, και η γεωμετρική ακρίβεια και ευθυγράμμιση είναι γενικά εύκολη υπόθεση.

4. Γενικότερα, για την απόφαση εφαρμογής μιας εκ των δύο μεθόδων «Βάσης προς τα άνω» ή «Κορυφής προς τα κάτω» πρέπει να αντισταθμιστεί το κόστος μεγάλων γερανών και λίγων εργατο-ωρών επί τόπου του έργου, έναντι του κόστους μικρού εξοπλισμού αλλά με πολλές εργατο-ώρες

5. Τρία είναι τα μειονεκτήματα της μεθόδου «Βάσης προς τα άνω». Το πρώτο είναι ο χρονικός παράγων, καθόσον η μέθοδος είναι χρονοβόρα, λόγω του γεγονότος ότι για τη συναρμολόγηση τα επί μέρους τεμάχια πρέπει να μεταφέρονται από τους εργατοτεχνίτες για τις συνδέσεις σε ψηλότερα σημεία στο χώρο. Όσο δε ένας εργατοτεχνίτης εργάζεται και πιο ψηλά, τόσο μεγαλύτερο το κόστος. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι – ιδιαίτερα σε ευμεγέθεις γεωδαιτικούς θόλους – η ανάγκη ύπαρξης πολλαπλών «πόλων ανυψωτικών τριπόδων» (gin poles) για τη διατήρηση της καμπυλότητας του θόλου. Το τρίτο μειονέκτημα σχετίζεται με την αντιμετώπιση σφαλμάτων ολίσθησης και τη συναρμολόγηση του τελευταίου κόμβου. Πολύ συχνά απαιτείται προς τούτο η ανύψωση όλης της κατασκευής.

6. Σε έργα όπου επιλέγεται η εφαρμογή της μεθόδου «Κορυφής προς τα κάτω» ο τρόπος ανέγερσης εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων: βάρος, μέγεθος, χρόνος, χρηματοδότηση και δυνατότητα επάνδρωσης συνεργείων επί τόπου αλλά και μίσθωσης των αναγκαίων μηχανημάτων και

εξοπλισμού. Για να βρεθεί η πιο αποτελεσματική παραλλαγή της εν λόγω μεθόδου, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια.

- **Βάρος** : Μια κρίσιμη ερώτηση είναι αν θα ληφθεί υπόψη το συνολικό βάρος του θόλου ή μόνο το βάρος του σκελετού με την επικάλυψη να τοποθετείται αργότερα.
- **Μέγεθος του θόλου** : Σε μερικές περιπτώσεις έργων, το βάρος μπορεί να μην είναι τόσο σημαντικό όσο το μέγεθος του θόλου. Τούτο συνήθως συμβαίνει σε έργα όπου η συναρμολόγηση γίνεται σε ένα σημείο και μετά ο θόλος τοποθετείται σε άλλο σημείο και στο τόπο του έργου ή κοντά σε αυτό υπάρχει άλλη κατασκευαστική δραστηριότητα.
- **Χρόνος** : Ο παράγων αυτός είναι σημαντικός όταν υπάρχουν προθεσμίες ή όταν το τελειωμένο έργο θα αποτελέσει πηγή εισοδημάτων για τον κατασκευαστή του.
- **Κόστος** : Όταν ο χρονικός παράγων δεν είναι σημαντικός, τότε σίγουρα είναι ο οικονομικός, οπότε συνήθως επιλέγεται η πιο φθηνή παραλλαγή της μεθόδου.
- **Πρόσβαση επί τόπου του έργου** : Σε μερικές περιπτώσεις η τελική θέση της κατασκευής είναι ο πλέον καθοριστικός παράγων, ιδιαίτερα αν ο θόλος πρόκειται να κατασκευαστεί σε απροσπέλαστα σημεία (κορυφές λόφων, στέγες ή πάνω σε άλλες υφιστάμενες κατασκευές).
- **Διαθεσιμότητα προσωπικού** : Συχνά οι εργοταξίαρχες έχουν να διαλέξουν ανάμεσα σε έμπιστο εξειδικευμένο προσωπικό με έδρα μακριά από τον τόπο του έργου, με άμεσο αποτέλεσμα την ανάγκη εξασφάλισης στέγης και τροφής (με ανάλογη αύξηση του κόστους) και σε προσωπικό από τη περιοχή του έργου, με άγνωστη εμπειρία και εξειδίκευση, το οποίο ναι μεν θα στοιχίσει λιγότερο αλλά είναι αμφίβολη η αποτελεσματικότητά του.

- **Διαθεσιμότητα εξοπλισμού** : Ορισμένα έργα, συνήθως αυτά μεγάλου μεγέθους περιορίζουν τις περιοχές επιλογής του αναγκαίου εξοπλισμού που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, με αποτέλεσμα τη μεταφορά του από απομακρυσμένα σημεία, με το ανάλογο κόστος.

## Κεφάλαιο 3

Σχεδιασμός, ανάλυση & μελέτη  
ελλειψοειδούς γεωδαιτικού  
θόλου με κύριο υλικό κράματα  
αλουμινίου

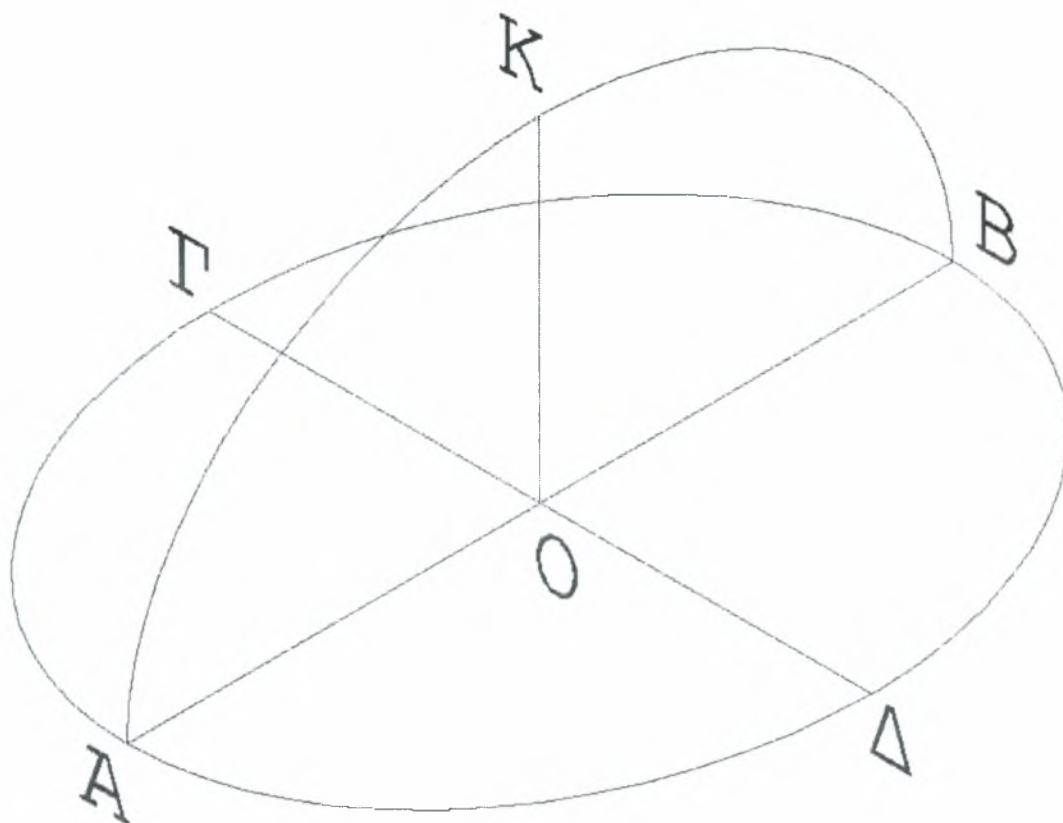


### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Σχεδιασμός, ανάλυση και μελέτη ελλειψοειδούς γεωδαιτικού θόλου με κύριο υλικό κράματα αλουμινίου**

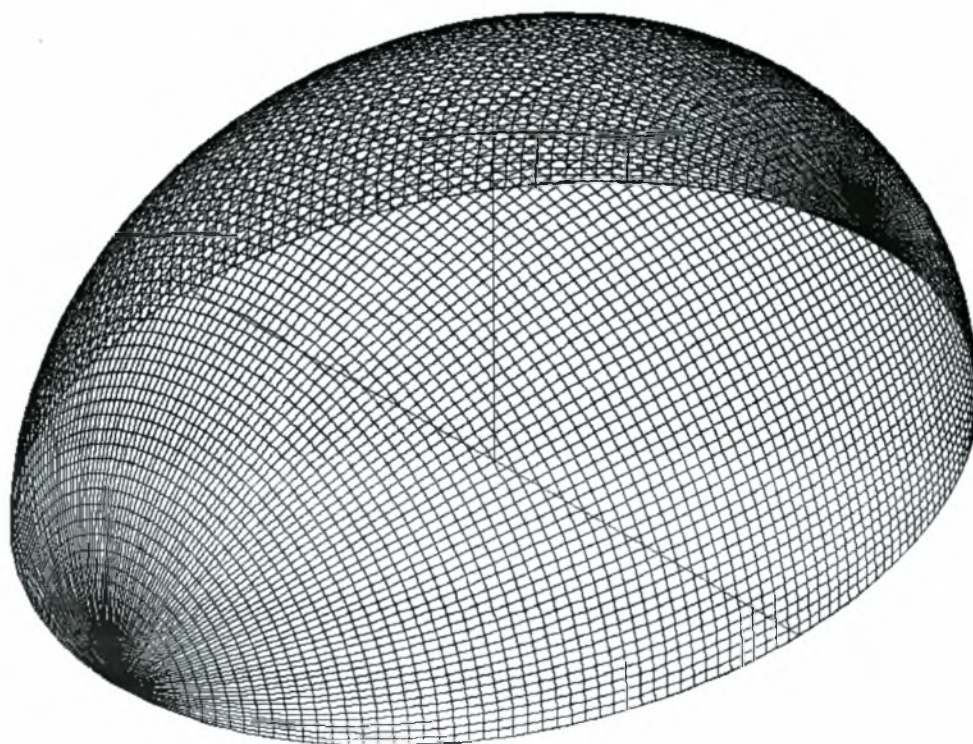
#### **Γ1. Γενική περιγραφή – Γεωμετρικά στοιχεία**

Σε άμεση συνάφεια με όλα όσα αναλυτικά ή περιληπτικά αναφέρθηκαν στα δύο προηγούμενα Κεφάλαια, το αντικείμενο του παρόντος Κεφαλαίου, που αποτελεί και το κατ' εξοχή αντικείμενο της Διπλωματικής, είναι ο σχεδιασμός, ανάλυση και μελέτη ενός ελλειψοειδούς γεωδαιτικού θόλου με κύριο υλικό (κόμβοι, ράβδοι και επικάλυψη) κράματα αλουμινίου.

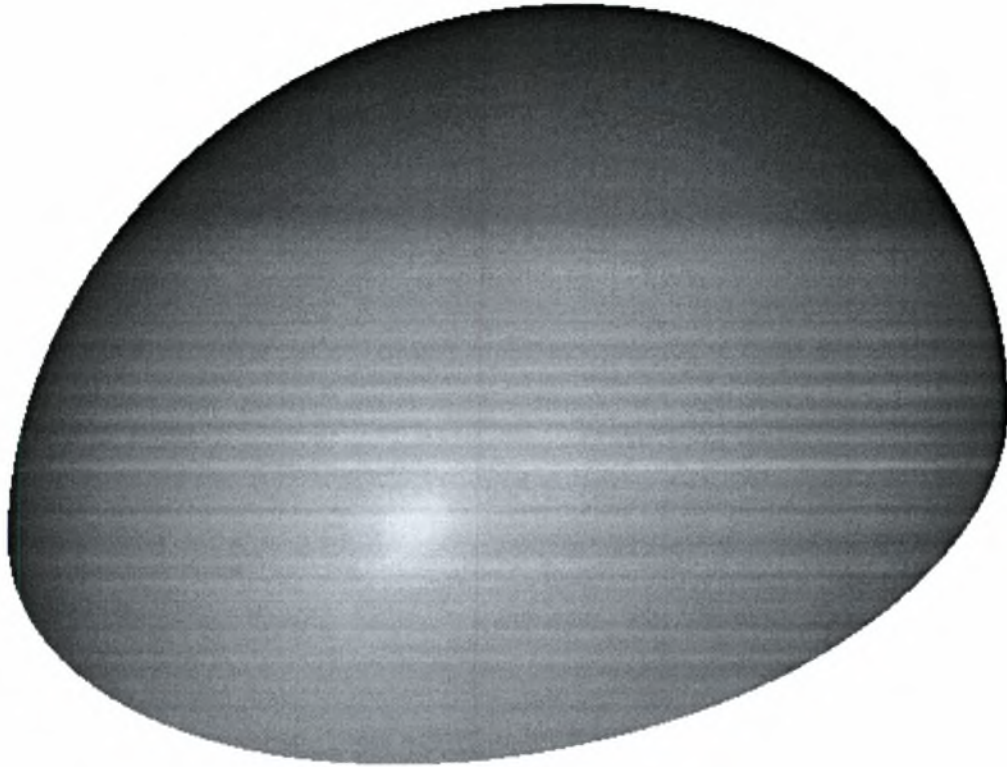
Η επιλογή των διαστάσεων και του σχήματος της κατασκευής γίνεται με γνώμονα την δυνατότητα κάλυψης μιας μεγάλης επιφάνειας χωρίς ενδιάμεσα στηρίγματα, την ύπαρξη εκ περιστροφής περιγεγραμμένου στερεού (δηλαδή οι κόμβοι του θόλου να είναι σημεία μιας κλειστής εκ περιστροφής επιφάνειας) και τη σχέση μήκους προς πλάτος. Αναλυτικότερα υιοθετείται η μορφή του μισού εκ περιστροφής ελλειψοειδούς με λόγο διαμέτρων 1:1.25, με μήκος μεγάλης διαμέτρου 250m, μικρής διαμέτρου 200m και ύψος στο κέντρο του θόλου 100m. Μια τέτοια κατασκευή μπορεί κάλλιστα να αποτελέσει το σκελετό κλειστού γυμναστηρίου ολυμπιακών αθλημάτων με ανεξάρτητες εξέδρες ή εκθεσιακού χώρου μηχανημάτων μεγάλου ύψους ή ακόμα και αστεροσκοπείου – πλανηταρίου. Η αρχική ιδέα περί της τελικής περιγεγραμμένης επιφάνειας του γεωδαιτικού θόλου αναπαρίσταται στα Σχήματα 3.1, 3.2 και 3.3α,β, όπου απεικονίζονται οι γενέτειρες και τα βασικά γεωμετρικά στοιχεία της εκ περιστροφής επιφάνειας, η μορφή της και δύο φωτοσκιασμένες τελικές της τρισδιάστατες όψεις αντίστοιχα.



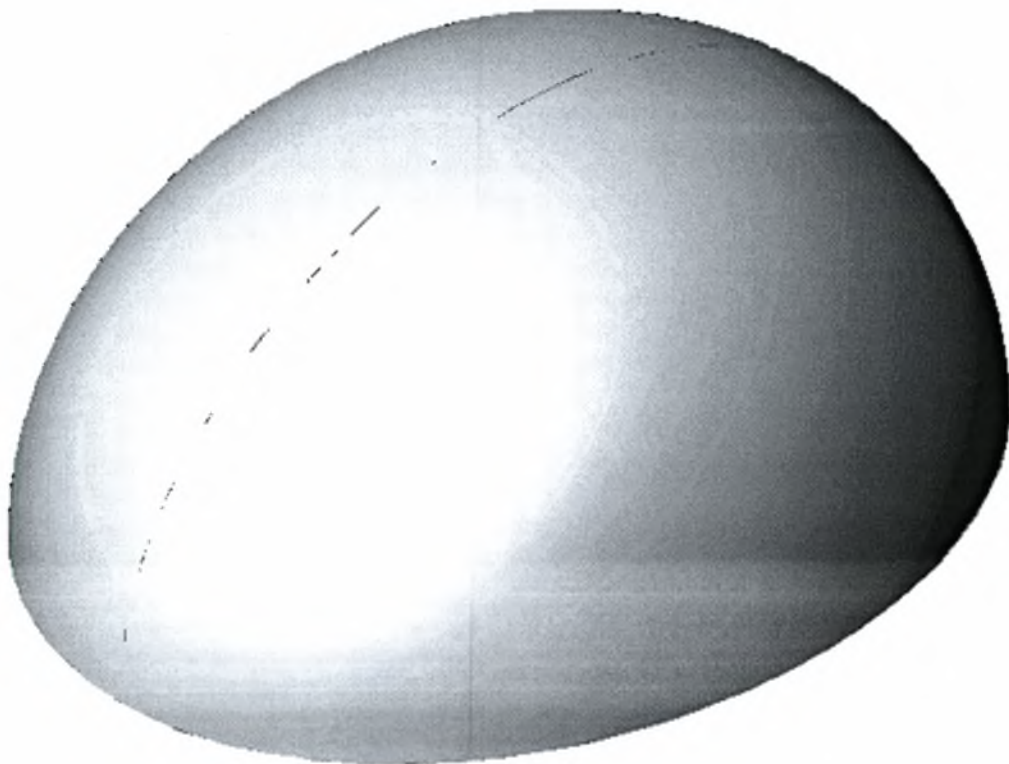
**Σχήμα 3.1** Γενέτειρες και γεωμετρικά στοιχεία ελλειψοειδούς εκ περιστροφής  
( $AB = 250m$ ,  $CD = 200m$ ,  $OK = 100m$ ,  $OG=OD=OK$ )



**Σχήμα 3.2** Ελλειψοειδές εκ περιστροφής – ισομετρική όψη



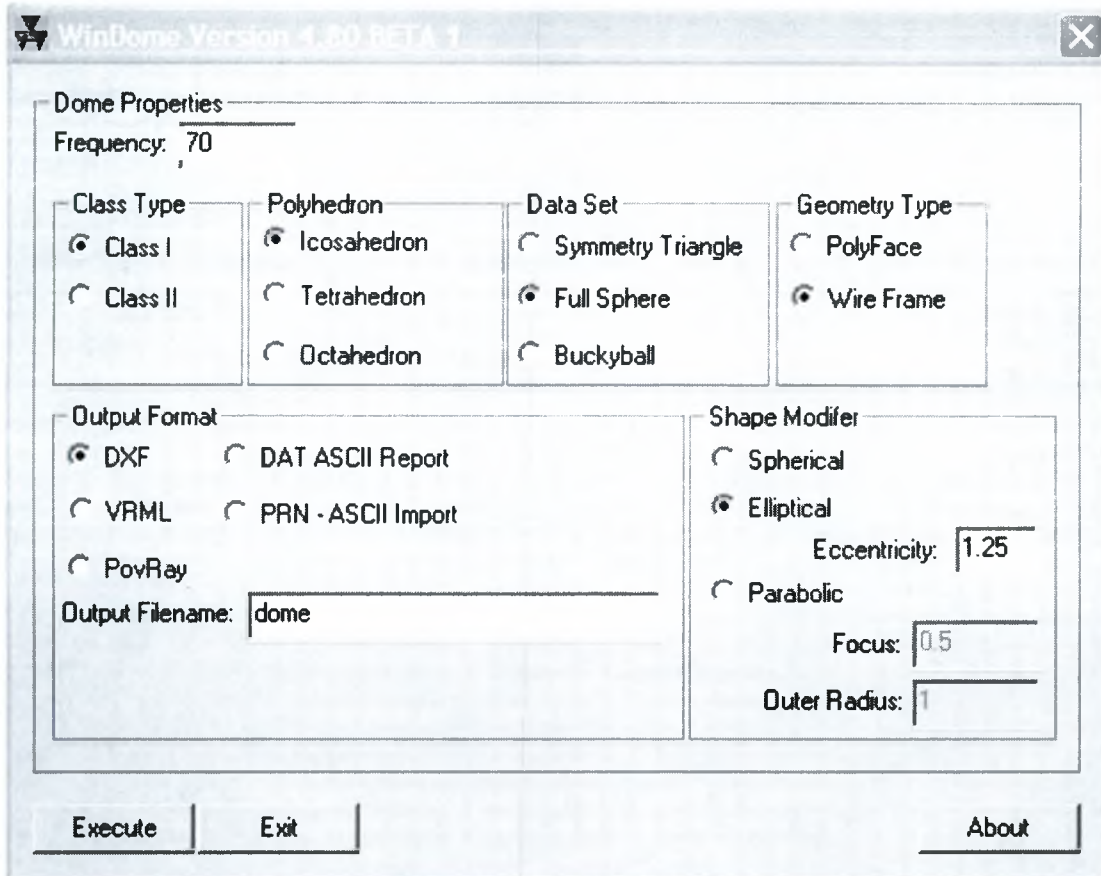
(α)



(β)

**Σχήμα 3.3 Φωτοσκιασμένες τελικές όψεις του εκ περιστροφής ελλειψοειδούς**

Για την υλοποίηση της πλήρους γεωμετρίας του γεωδαιτικού θόλου, εγγεγραμμένου στην ανωτέρω εκ περιστροφής επιφάνεια, γίνεται χρήση του προγράμματος WinDome, με τις ακόλουθες παραμέτρους που φαίνονται παρακάτω (Σχήμα 3.4):

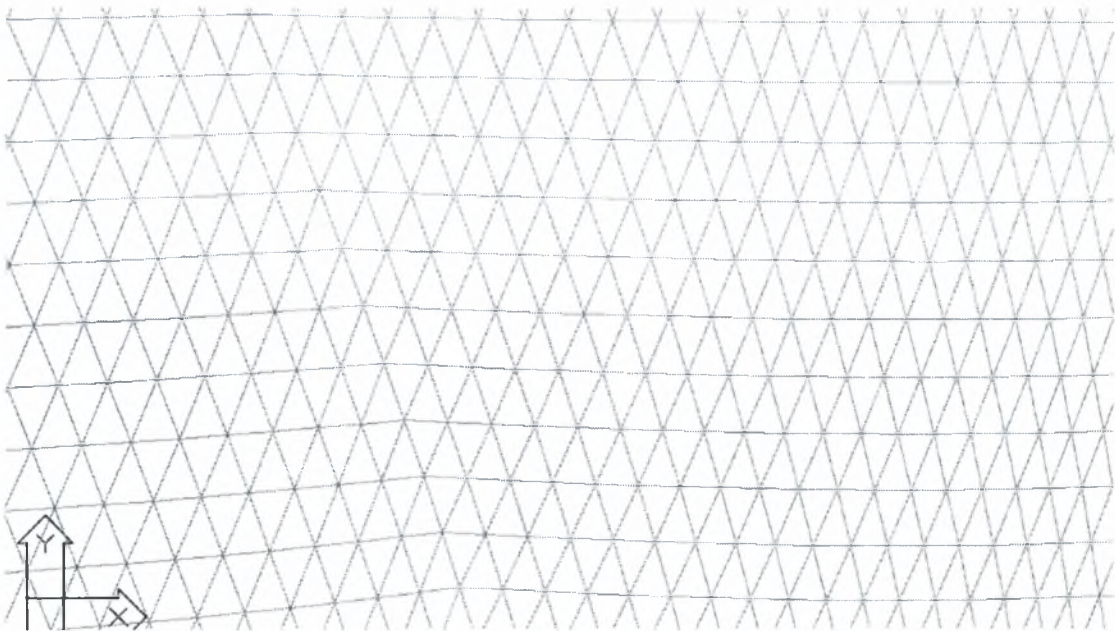


**Σχήμα 3.4 Γεωμετρικές παράμετροι WinDome γεωδαιτικού θόλου**

Το αρχείο εξόδου dome.dxf στη συνέχεια επεξεργάζεται μέσω του Autocad (ουσιαστικά διαιρείται δια δύο) και η προκύπτουσα τρισδιάστατη κατασκευή αποτελείται από 73360 ράβδους με ελάχιστο μήκος 1.4m και μέγιστο μήκος 2.2m και από 24641 κόμβους, έχοντας τη μορφή του Σχήματος 3.5, που απεικονίζει πλαϊνή όψη του θόλου, ενώ ενδεικτική λεπτομέρεια της πυκνότητας και πολυπλοκότητας αυτού φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



**Σχήμα 3.5 Πλαϊνή όψη του υπό μελέτη γεωδαιτικού θόλου (μεγάλη πλευρά)**



**Σχήμα 3.6 Λεπτομέρεια συνδεσμολογίας (από τρισδιάστατο αρχείο)**

Μετά την κατ' εξοχή σχεδιαστική επεξεργασία, το αρχείο του Autocad εισάγεται στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων **Sap 2000 Nonlinear, Version 8.12**, μέσω του οποίου γίνεται η στατική ανάλυση και η διαστασιολόγηση του θολωτού φορέα.

## **Γ2. Επιλογή υλικών και διατομών**

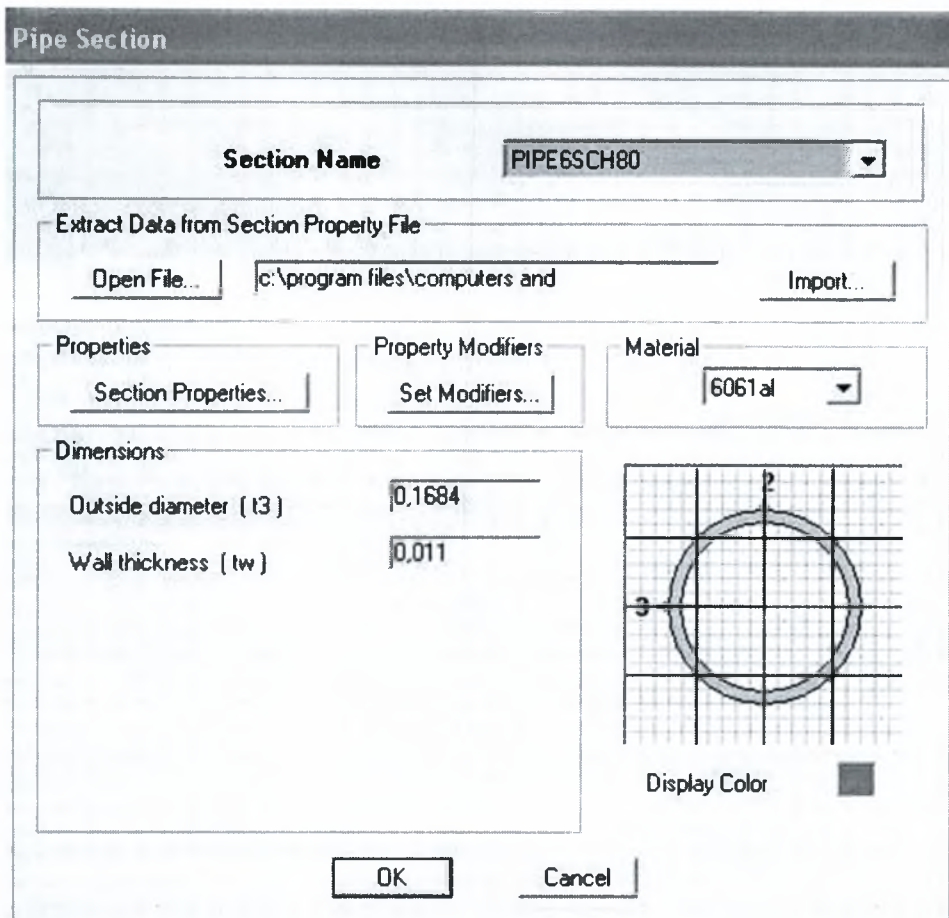
Επιλέγεται η χρήση κράματος κατεργασμένου αλουμινίου 6061-T6 με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά και τιμές αντοχών (Σχήμα 3.7):

Material Property Data	
Material Name	6061al
Type of Material	<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic <input type="radio"/> Anisotropic
Type of Design	Aluminum
Analysis Property Data	
Mass per unit Volume	2.7
Weight per unit Volume	25.
Modulus of Elasticity	70000000
Poisson's Ratio	0.3
Coeff of Thermal Expansion	2.300E-05
Shear Modulus	26923077
Design Property Data	
Aluminum Alloy Designation	6061-T6
Compressive Yield Strength, Fcy	240000.
Tensile Yield Strength, Fty	240000.
Tensile Ultimate Strength, Ftu	260000.
Shear Yield Strength, Fsy	227527.01
Shear Ultimate Strength, Fsu	27000000
<input checked="" type="radio"/> Wrought <input type="radio"/> Mold Cast <input type="radio"/> Sand Cast	

**Σχήμα 3.7 Χαρακτηριστικά και τιμές αντοχών κατεργασμένου αλουμινίου 6061-16**

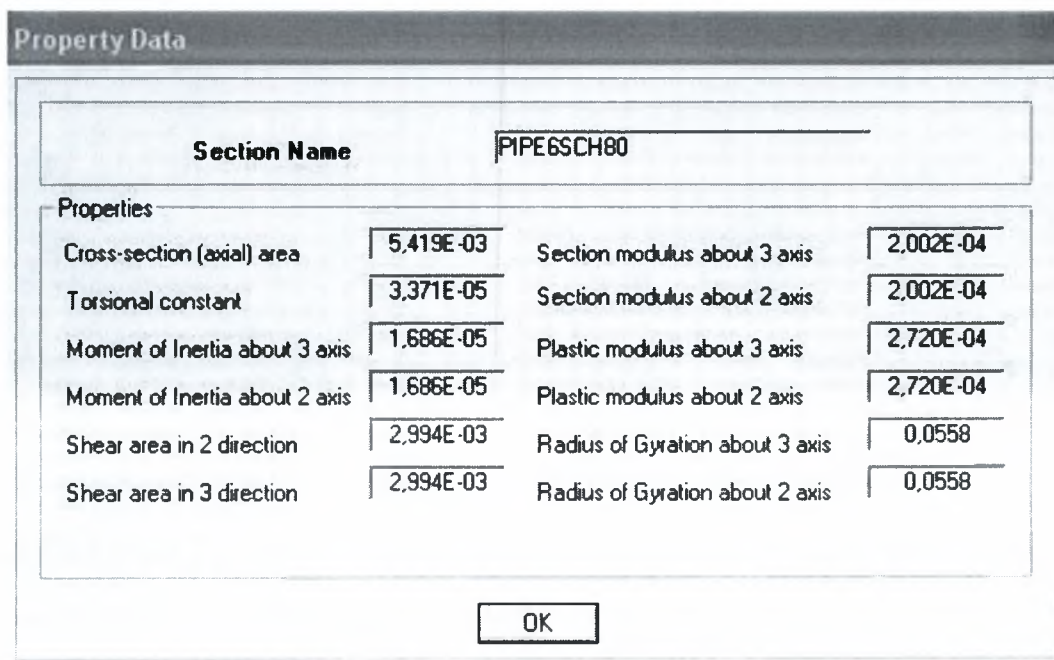
Το εν λόγω υλικό επελέγη επειδή χρησιμοποιείται από την εταιρία Starnet, ο κόμβος Ομπι\*Hub θα χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της παρούσας ως μορφή σύνδεσης των βασικών τριγώνων του θόλου.

Όσο αναφορά την διατομή των ράβδων επιλέγεται κοινή και μορφής κοίλης κυκλικής (extruded tube). Η πρώτη επιλογή όσον αναφορά τις διαστάσεις της γίνεται με γνώμονα την αντοχή της σε θλίψη (675 kN) που αντιστοιχεί στην κατωτέρω διατομή (Σχήμα 3.8).



**Σχήμα 3.8 Χρησιμοποιούμενη διατομή**

με τις ακόλουθες γεωμετρικές ιδιότητες (Σχήμα 3.9):



**Σχήμα 3.9 Γεωμετρικές ιδιότητες χρησιμοποιούμενης διατομής**

### **Γ3. Φορτία επί της κατασκευής**

#### **1. Μόνιμα φορτία**

Το ίδιο βάρος των ράβδων υπολογίζεται αυτόματα από το χρησιμοποιούμενο τεχνικό λογισμικό (πρόγραμμα Sap2000) και λαμβάνεται άμεσα υπ' όψη στην ανάλυση.

Υπολογίστηκε ότι κάθε κόμβος φορτίζεται κατακόρυφα με μόνιμο συγκεντρωμένο φορτίο 100 Kg τιμή, η οποία εισήχθη. Σε αυτό το φορτίο περιλαμβάνεται η επικάλυψη (η οποία αναλαμβάνεται από τους κόμβους του θόλου) καθώς επίσης και όλα τα επιπρόσθετα φορτία εσωτερικών εγκαταστάσεων πάσης φύσεως (π.χ. κλιματισμός, φωτισμός, εξαερισμός κτλ).

#### **2. Κινητά φορτία**

Τόπος κατασκευής, εγκατάστασης και λειτουργίας του θόλου θεωρείται περιοχή ελάχιστης έως μηδενικής χιονόπτωσης, με αποτέλεσμα για τις ανάγκες τις παρούσας το φορτίο χιόνος να αμελείται. Σε περίπτωση πάντως που αυτό λαμβάνοντας υπ' όψη θα υπολογιζόταν σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον Ευρωκώδικα 1 και λόγω του σχήματος της κατασκευής (συνεχής αύξηση της κλίσης από πάνω προς τα κάτω) οι κόμβοι που τελικά θα φορτίζοντο λόγω χιόνος θα βρίσκονταν περί τη υθεωρητική κορυφή αυτού. Επίσης σε περίπτωση λήψης υπ' όψης του φορτίου χιονιού, θα άλλαζαν οι συνδυασμοί φόρτισης και θα λαμβάνετο ειδική μέριμνα για την ανίχνευση – υπολογισμό πιθανών φαινομένων τοπικού λυγισμού (ακαριαίου) στη κορυφή του θόλου.

#### **3. Ανεμοπίεση**

Ο υπολογισμός της δύναμης που αναλαμβάνουν οι κόμβοι λόγω ανέμου γίνεται προσεγγιστικά σύμφωνα με το μέρος 2-4 του Ευρωκώδικα 1, ο οποίος



παρέχει κανόνες και μεθόδους υπολογισμού των φορτίων ανέμου επί κτιριακών κατασκευών, και οι τελικές ανά κόμβο δυνάμεις που υπολογίζονται θεωρούνται δρώσες οριζόντια. Ο ακριβής υπολογισμός θα έπρεπε να θεωρήσει τις σχετικές δυνάμεις κάθετες προς την επιφάνεια του θόλου, λόγω όμως των πολλών συνεχών αλλαγών των επιπέδων από την γεωδαιτική, τούτο εκφεύγει των δκοπών της παρούσας.

Ως αρχική παραδοχή δεχόμεθα κατηγορία εδάφους IV, δηλαδή αστική περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται από κτίρια, των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m. Οι υπόλοιπες δε παράμετροι που χρειάζονται για τον στατικό υπολογισμό παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η ταχύτητα αναφοράς για νησιά και σε παράκτιες ζώνες σε απόσταση μέχρι 10 Km από τη θάλασσα είναι  $V_{ref} = 36 \text{ m/sec}$  για τον ελλαδικό χώρο.
- Η πυκνότητα του αέρα είναι ίση με  $1.25 \text{ Kg/m}^3$ .
- Συντελεστής έκθεσης  $C_e(z)=3$  (για  $Z=100\text{m}$  από πίν.8.3 Ευρωκώδικα 1)
- Για  $h = 100 \text{ m}$  και  $b_{min} = 200 \text{ m}$  από το σχήμα 9.2 του Ευρωκώδικα 1 προκύπτει ότι  $C_d = 0.9 < 1.2$

Επίσης για  $h = 100 \text{ m}$  και  $b_{max} = 250\text{m}$  από το σχήμα 9.2 του Ευρωκώδικα 1 λαμβάνοντας ότι  $C_d = 0.85 < 1.2$  τεκμαίρεται ότι η υπό ανάλυση κατασκευή δεν είναι ευαίσθητη σε στροβιλώδη ροή.

- Η πίεση αναφοράς που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα αναφοράς του ανέμου προσδιορίζεται από τη σχέση :  $q_{ref} = \rho/2V_{ref}^2$

Έχουμε δηλαδή :  $q_{ref} = \rho/2V_{ref}^2 = (1.25/2)*36^2 = 810\text{Kg/m}^2 = 0.81\text{KN/m}^2$

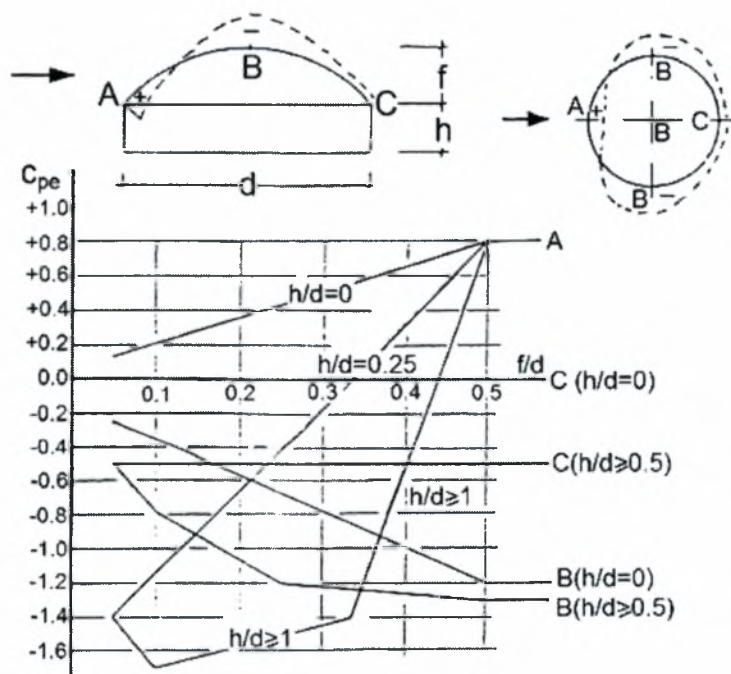
- Συντελεστές εξωτερικής και εσωτερικής πίεσης

Για τους λόγους  $h/d = 0/250 = 0$  και  $f/d = 100/200 = 0.5$  από το σχήμα 10.2.10 του Ευρωκώδικα 1 (Σχήμα 3.10) λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές εξωτερικής πίεσης στα σημεία A, B και C όπου A η βάση του θόλου στο μέτωπο του ανέμου, B η κορυφή της θολωτής κατασκευής και C η βάση του θόλου στο αντιδιαμετρικό σημείο του μετώπου του ανέμου.

Σημείο A :  $C_{pe} = 0.8$  , Σημείο B :  $C_{pe} = -1.2$  , Σημείο C :  $C_{pe} = 0$

Για τους λόγους  $h/d = 0/250 = 0$  και  $f/d = 100/250 = 0.4$  από το σχήμα 10.2.10 του Ευρωκώδικα 1 (Σχήμα 3.10) λαμβάνουμε τους παρακάτω συντελεστές :

Σημείο A :  $C_{pe} = 0.65$  , Σημείο B :  $C_{pe} = -1$  , Σημείο C :  $C_{pe} = 0$



Η τιμή του  $c_{pe,10}$  είναι σταθερή κατά μήκος τόξων κύκλων, οι οποίοι αποτελούν τομές της σφαιρας και των επιπέδων που είναι κάθετα στη διεύθυνση του ανέμου. Μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά ως γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών στα σημεία A, B και C ανά μήκος τόξων κύκλων παράλληλα με τον άνεμο.

**Σχήμα 3.10 Ευρωκώδικας 1, Σχήμα 2.10.10**

Επομένως επιλέγεται και διαστασιολογείται η κατασκευή με τη δυσμενέστερη των δύο περιπτώσεων δηλ. για  $h/d = 0/250 = 0$  και  $f/d = 100/200 = 0.5$ , ενώ για ενδιάμεσα σημεία γίνεται γραμμική παρεμβολή μεταξύ αυτών των συντελεστών.

Η κατασκευή έχει σχήμα ελλειψοειδούς εκ περιστροφής και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το παραπάνω διάγραμμα όντας προς την πλευρά της ασφαλείας, διαλέγοντας τη δυσμενέστερη περίπτωση δηλαδή με φορά του ανέμου προς τη μεγάλη πλευρά.

- ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΠΙΕΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ

Η τιμή της εξωτερικής πίεσης ισούται με

$$W_e = q_{ref} C_e(z)C_{pe}$$

Ενώ η τιμή της εσωτερικής πίεσης ισούται με

$$W_i = q_{ref} C_e(z)C_{pi}$$

Για την λεπτομερέστερη ανάλυση διαχωρίζεται ο ελλειπτικός θόλος σε 10 παράλληλους δακτυλίους με υψομετρική διαφορά 10m ο καθένας. Κάνοντας γραμμική παρεμβολή καταλήγουμε στα ακόλουθα αποτελέσματα (Πίνακας 3.1).

παράλληλος δακτύλιος	υψόμετρο ( m )	ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΟΨΗ		ΠΙΣΩ ΟΨΗ	
		$C_{pe}$	$w$ ( $KN / m^2$ )	$C_{pi}$	$w$ ( $KN / m^2$ )
1 <sup>ος</sup>	0	0,8	<b>3,08</b>	0	<b>0,00</b>
2 <sup>ος</sup>	10	0,79	<b>2,94</b>	0,006	<b>-0,02</b>
3 <sup>ος</sup>	20	0,758	<b>2,71</b>	0,025	<b>-0,09</b>
4 <sup>ος</sup>	30	0,708	<b>2,55</b>	0,055	<b>-0,20</b>

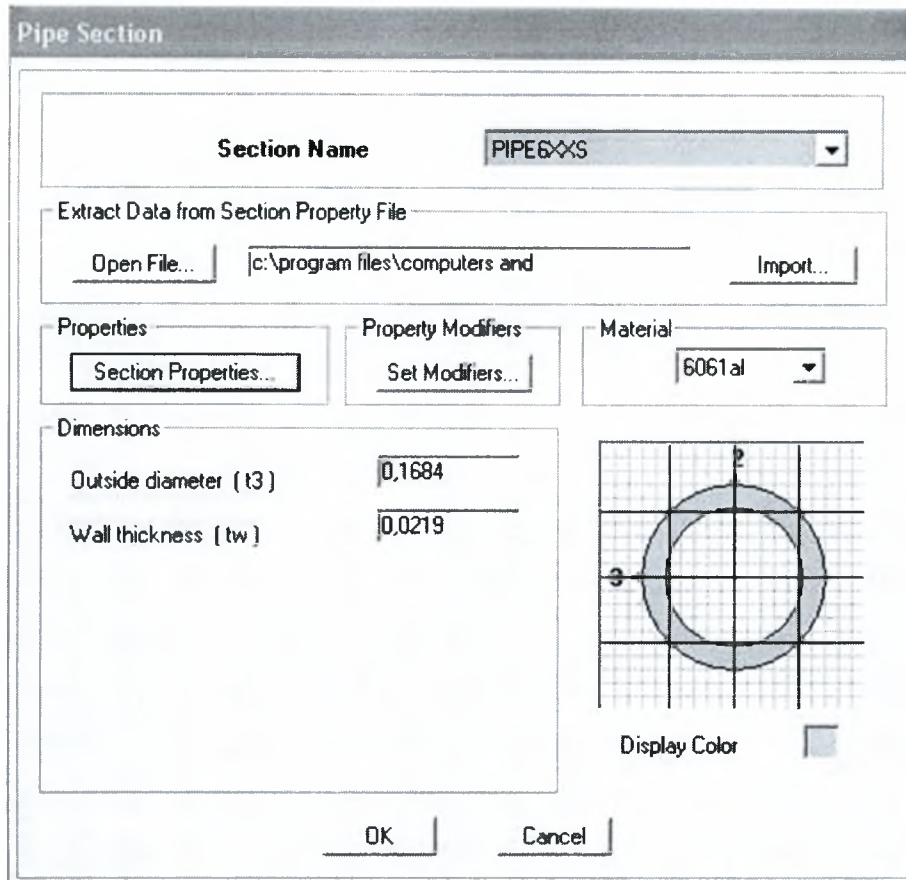
παράλληλος δακτύλιος	υψόμετρο ( m )	ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΟΨΗ		ΠΙΣΩ ΟΨΗ	
		$C_{pe}$	$w$ ( $KN / m^2$ )	$C_{pi}$	$w$ ( $KN / m^2$ )
5 <sup>ος</sup>	40	0,632	<b>2,45</b>	0,1	<b>-0,39</b>
6 <sup>ος</sup>	50	0,532	<b>2,10</b>	0,16	<b>-0,63</b>
7 <sup>ος</sup>	60	0,398	<b>1,58</b>	0,24	<b>-0,95</b>
8 <sup>ος</sup>	70	0,228	<b>0,85</b>	0,34	<b>-1,26</b>
9 <sup>ος</sup>	80	0	<b>0,00</b>	0,48	<b>-1,75</b>
10 <sup>ος</sup>	90	0,872	<b>-3,47</b>	0,677	<b>-2,69</b>

**Πίνακας 3.1 Αποτελέσματα γραμμικής παρεμβολής**

Η δύναμη που δέχεται κάθε κόμβος από τον άνεμο ισούται με το γινόμενο της εξωτερικής πίεσης στο ύψος του κόμβου επί το προβαλλόμενο εμβαδόν επιρροής του κόμβου σε επίπεδο κάθετο προς την διεύθυνση του ανέμου.

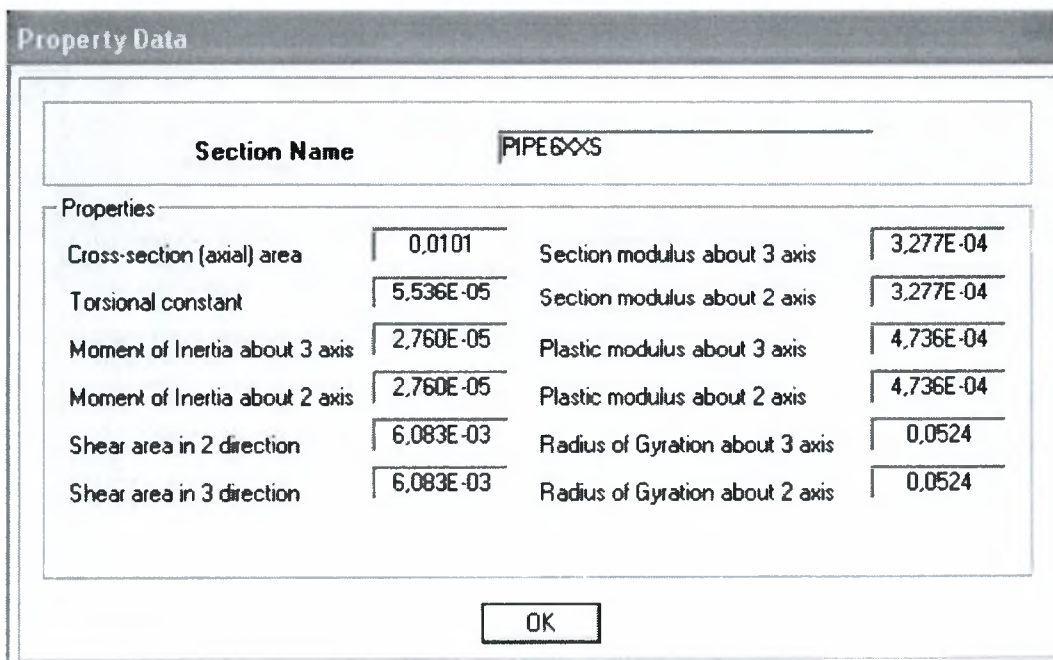
#### **Γ4. Τελική επιλογή στοιχείων κατασκευής**

Κατόπιν επιλύσεων προέκυψε ότι η οικονομικότερη λύση, η οποία επαληθεύει ταυτόχρονα όλους τους ελέγχους για όλους τους συνδυασμούς φόρτισης είναι αυτή με την προαναφερθείσα διατομή σε όλο το ύψος της κατασκευής. Εξαίρεση σε αυτό αποτελούν οι ράβδοι του 1<sup>ου</sup> δακτυλίου (μέχρι ύψος 2,5 μέτρων από το έδαφος), όπου επιλέγεται η παρακάτω διατομή (σχήμα 3.10) :



**Σχήμα 3.10 Διατομή ράβδων 1<sup>ου</sup> δακτυλίου**

με τις ακόλουθες γεωμετρικές ιδιότητες (Σχήμα 3.11) :



**Σχήμα 3.11 Γεωμετρικές ιδιότητες διατομής ράβδων 1<sup>ου</sup> δακτυλίου**

**Γ5. Επιλύσεις – Αποτελέσματα**

Οι συνδυασμοί φόρτισης με βάση τους οποίους ελέγχουμε την κατασκευή έχουν ως εξής:

- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| 1) G + W        | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ |
| 2) 1.35G + 1.5W | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ         |

όπου G: η φόρτιση λόγω των μόνιμων φορτίων

W: η φόρτιση λόγω ανέμου

**Γ5.1. Έλεγχος μετακινήσεων**

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9 η μέγιστη επιτρεπόμενη οριζόντια μετακίνηση για λόγους λειτουργικότητας είναι :

$\delta_{1,max} = \delta_{2,max} = \delta_{3,max} = H/200$  όπου H το συνολικό ύψος της κατασκευής.

Άρα  $\delta_{1,max} = \delta_{2,max} = \delta_{3,max} = 100000/200 = 500\text{ mm}$

Από τις επιλύσεις παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:

1<sup>ος</sup> συνδυασμός :  $\delta_1 = 42.3\text{ mm} < 500\text{ mm}$

$\delta_2 = 24.6\text{ mm} < 500\text{ mm}$

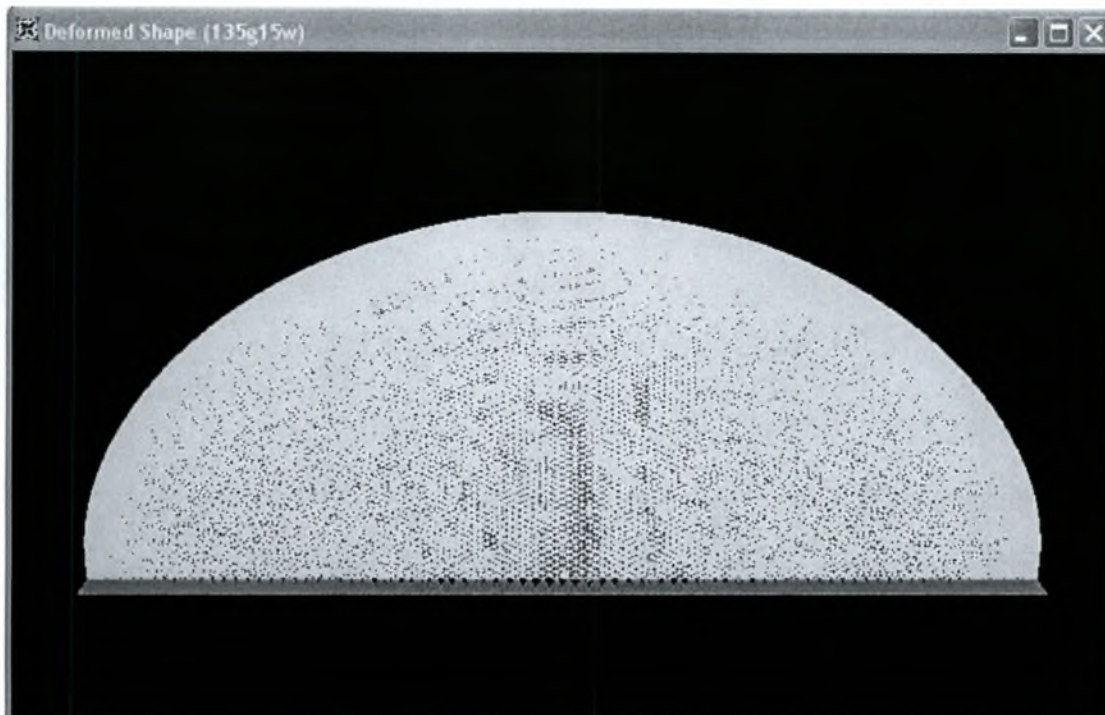
$\delta_3 = 75.6\text{ mm} < 500\text{ mm}$

2<sup>ος</sup> συνδυασμός :  $\delta_1 = 63.3\text{ mm} < 500\text{ mm}$

$\delta_2 = 34.9\text{ mm} < 500\text{ mm}$

$\delta_3 = 105.9\text{ mm} < 500\text{ mm}$

Η παραμορφωμένη μορφή του θόλου φαίνεται στο Σχήμα 3.12, που έπεται.



**Σχήμα 3.12 Παραμορφωμένη μορφή του θόλου σε κατάσταση αστοχίας**

#### Γ5.2. Έλεγχος αντοχής και λυγισμού μελών

Για τη μικρότερη διατομή που επιλέξαμε η επιτρεπόμενη αξονική θλιπτική και αξονική εφελκυστική δύναμη είναι όπως προαναφέρθηκε (675 kN) πολύ μεγαλύτερη από τη μέγιστη δύναμη που παίρνουμε από τα αποτελέσματα της επίλυσης (367.75 kN). Ο λόγος που επιλέξαμε να αλλάξουμε την διατομή των κατωτέρω ράβδων ήταν προβλήματα λυγισμού μελών, τα οποία υπερνικήθηκαν πλήρως, στα πλαίσια στατικής 1<sup>ης</sup> τάξης.

#### Γ6. Ανάλυση καθολικής ευστάθειας

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία οι θολωτές κατασκευές είτε υπό μορφή λεπτών κελυφών είτε τρισδιάστατων δικτυωτών φορέων εμφανίζουν ιδιαίτερη ευαισθησία σε αρχικές ατέλειες έναντι φορτίσεων είτε κατακόρυφων είτε οριζόντιων και κινδυνεύουν από δύο εξίσου επικίνδυνα αλλά διαφορετικά

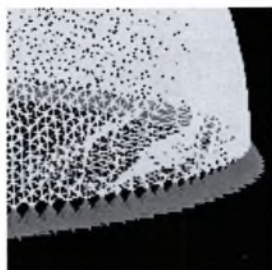
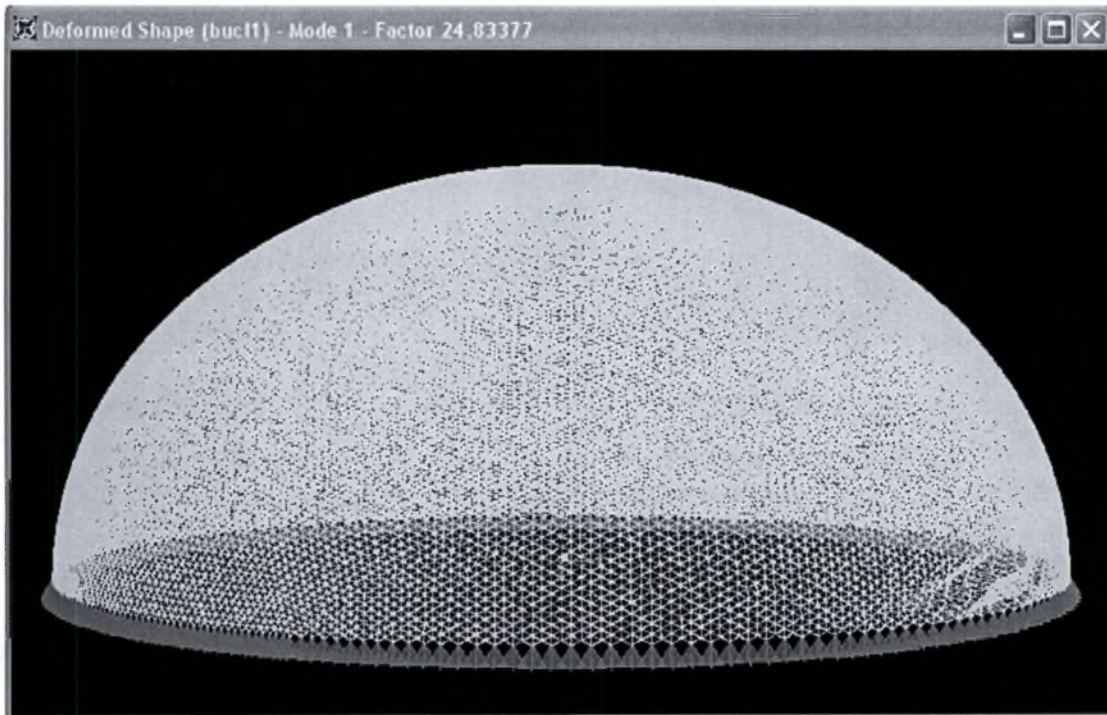
φαινόμενα ( ανάλογα με τη γεωμετρία, τη κατανομή των κόμβων στο χώρο και τη διαδικασία κατασκευής και ανέγερσης). Τα φαινόμενα αυτά είναι ο **τοπικός λυγισμός**, ο οποίος σχετίζεται με κατάρρευση μιας ορισμένης περιοχής της κατασκευής (τοπική αστάθεια, μη επιθυμητή για προφανείς λόγους, παρόλο που δεν ισοδυναμεί με ολική καταστροφή) και ο **ακαριαίος λυγισμός** (καθολική αστάθεια, που ισοδυναμεί με πλήρη καταστροφή της κατασκευής). Τα φαινόμενα αυτά δύνανται να «συλληφθούν – αναγνωρισθούν» και να υπολογιστούν τα αντίστοιχα κρίσιμα φορτία **μόνο** μέσω πλήρως μη γραμμική δυναμική ανάλυση ευστάθειας μεγάλων παραμορφώσεων. Οποιαδήποτε προσεγγιστική ψευδο-στατική απλουστευμένη ανάλυση εγκυμονεί μεγάλους κινδύνους, καθόσον έχει αποδειχθεί ότι στις πλείστες των περιπτώσεων μια τέτοιου είδους ανάλυση οδηγεί σε εντελώς λανθασμένη εκτίμηση των μη γραμμικών κανονικών μορφών λυγισμού (στατικού και δυναμικού) και κατ' επέκταση των αντίστοιχων κρίσιμων φορτίων. Πλην όμως, στα πλαίσια ενός προκαταρκτικού ελέγχου και σύμφωνα και με τους διεθνείς κανονισμούς αλλά και τη σχετική βιβλιογραφία δυνάμεθα και για τους δύο ως άνω συνδυασμούς φορτίσεων να υπολογίσουμε άμεσα – με βάση τη γραμμική θεωρία ελαστικής ευστάθειας σε συνδυασμό με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (ενσωματωμένη στο πρόγραμμα SAP2000) τόσο τις ιδιοτιμές λυγισμού (ρίζες της εξίσωσης λυγισμού) του φορέα συνολικά αλλά και να προσδιορίσουμε την περιοχή όπου υφίσταται έντονος ο κίνδυνος τοπικού λυγισμού στην όλη κατασκευή.



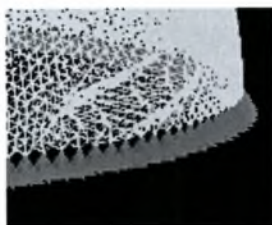
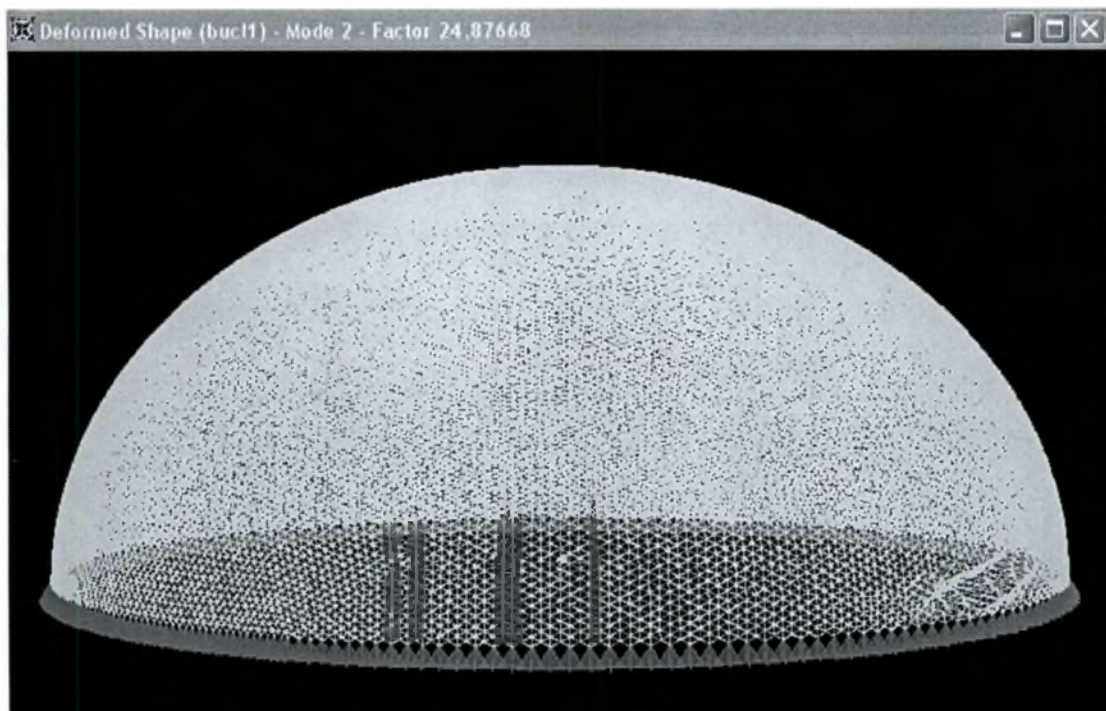
Τα αποτελέσματα της ως άνω ανάλυσης για τις τρεις πρώτες κανονικές μορφές δίδονται στα επόμενα σχήματα, όπου αναγράφονται και οι τιμές των ιδιοτιμών (factor).

### **Συνδυασμός φόρτισης G + W**

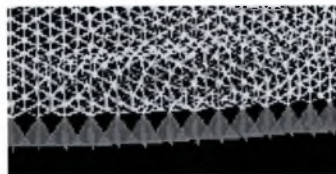
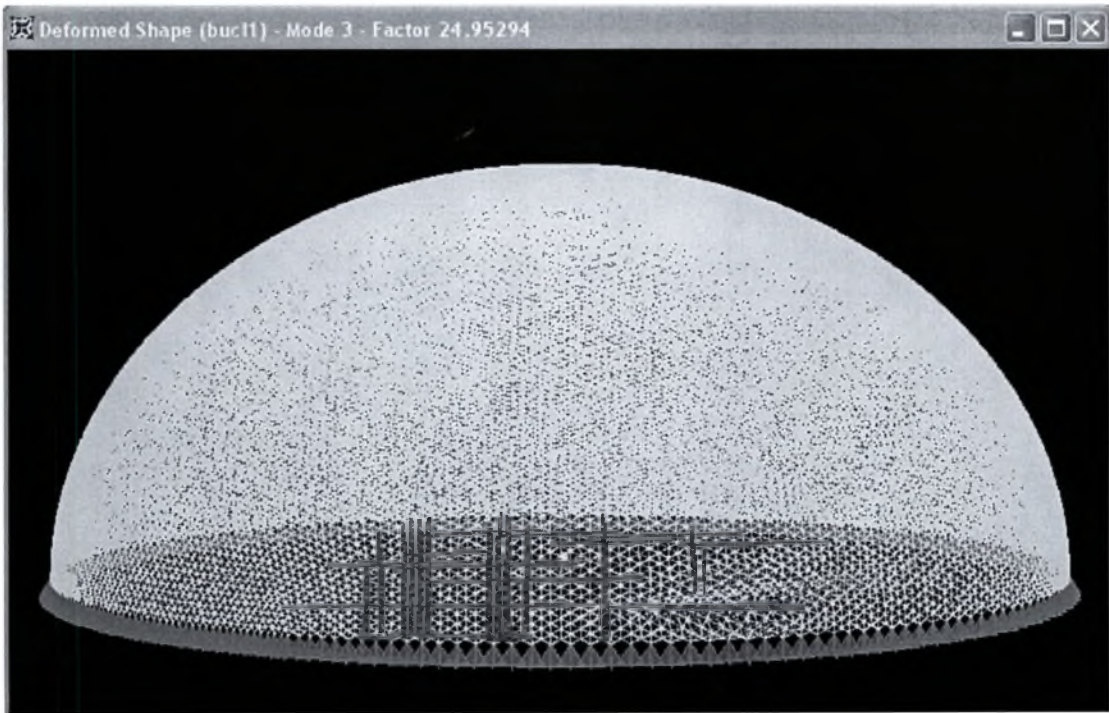
#### ***Πρώτη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια***



### ***Δεύτερη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια***

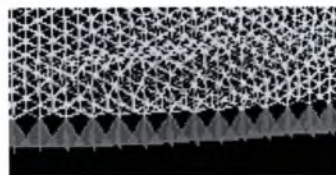
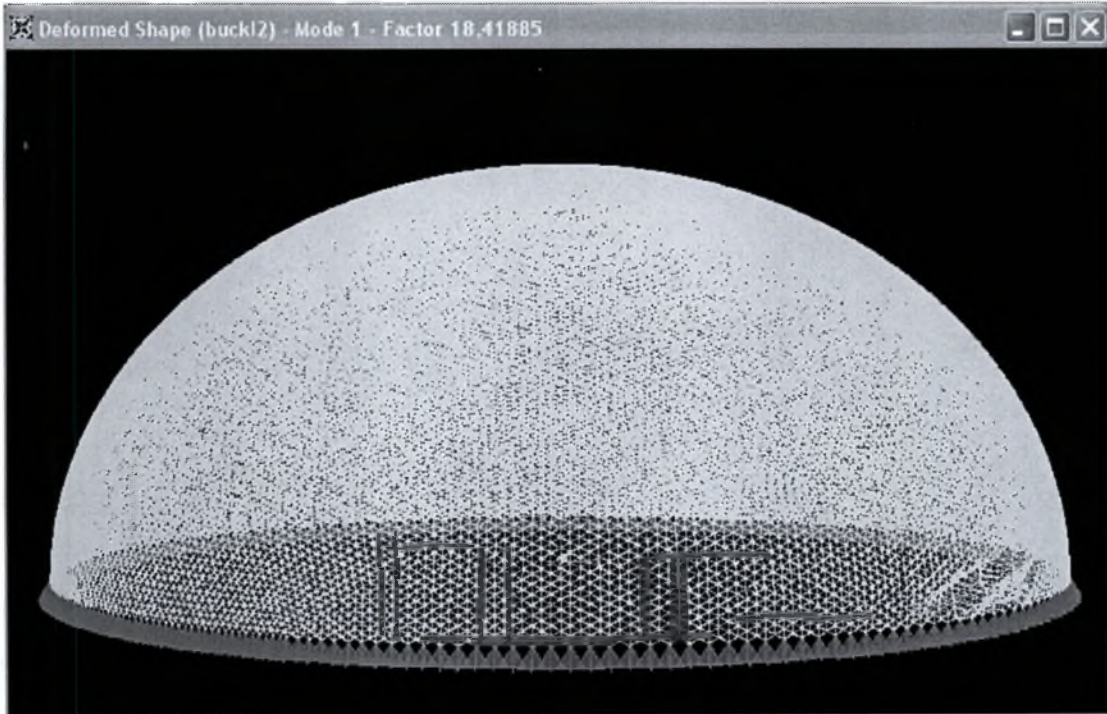


### ***Τρίτη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια***

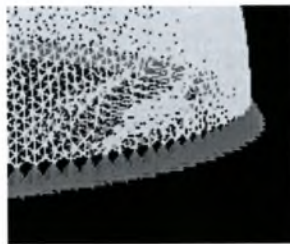
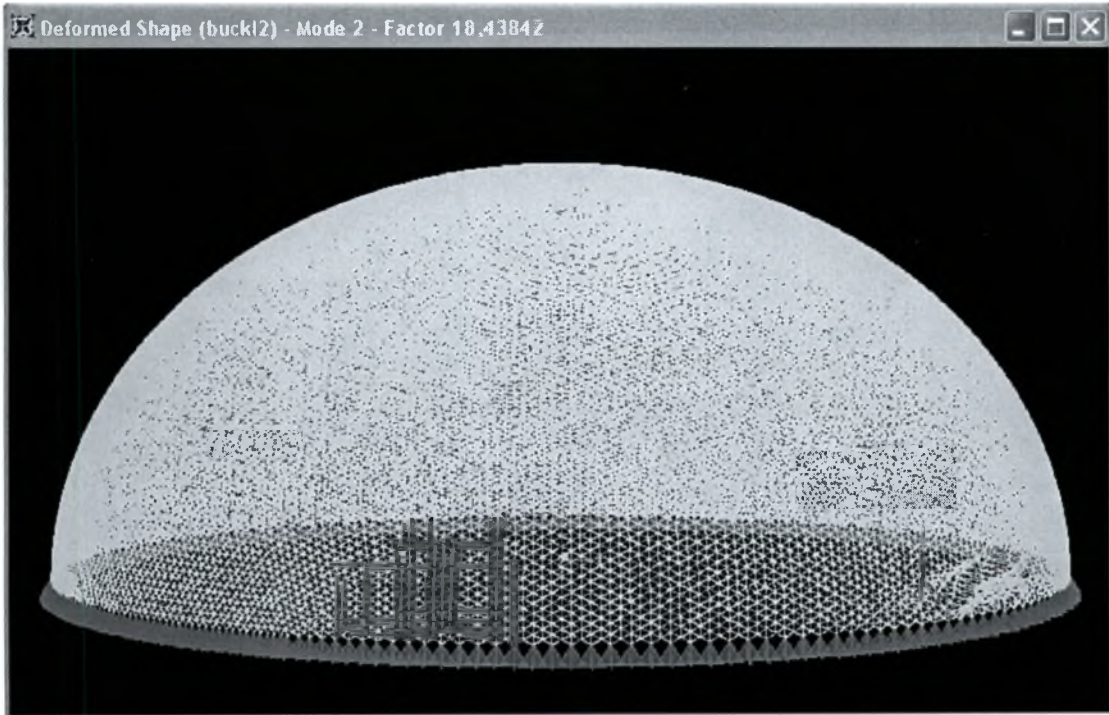


**Συνδυασμός φόρτισης 1.35 G + 1.50 W**

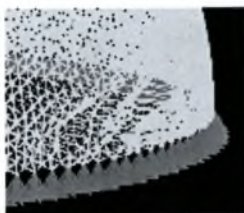
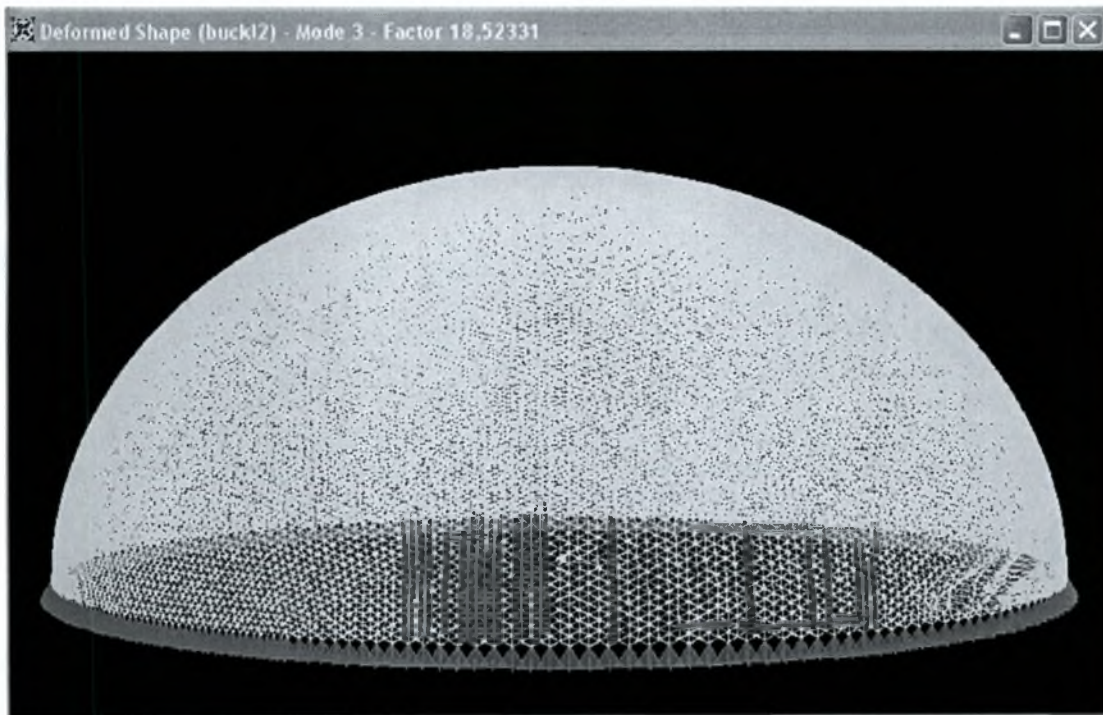
**Πρώτη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια**



### ***Δεύτερη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια***



### ***Τρίτη κανονική μορφή λυγισμού και λεπτομέρεια***



Παρατηρούμε εμφάνιση φαινομένων τοπικού λυγισμού περί τη βάση της κατασκευής και για τις τρεις πρώτες κανονικές μορφές, αναμενόμενων από την προηγηθείσα στατική ανάλυση καθώς και από το γεγονός ότι η περιοχή αυτή εντείνεται τα μέγιστα για ευνόητους λόγους.

Αναφερόμενοι στην οριακή κατάσταση αστοχίας (βάσει της οποίας γίνεται και η διαστασιολόγηση), επικεντρώνεται το ενδιαφέρον στα αποτελέσματα για τον αντίστοιχο συνδυασμό φόρτισης. Με σκοπό την ενσωμάτωση τους στην όλη ανάλυση, υπολογίζονται κατά τα γνωστά τα ισοδύναμα μήκη λυγισμού των ράβδων της ευπαθούς περιοχής ως εξής:

Καθόσον οι ιδιοτιμές (factors) των 3<sup>ων</sup> πρώτων μορφών λυγισμού έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος, θεωρείται ως προεξάρχουσα τιμή τους αυτή του μέσου όρου, δηλαδή

$$k_{cr} = \frac{1}{3} (18.41885 + 18.43842 + 18.52331) = 18.460193.$$

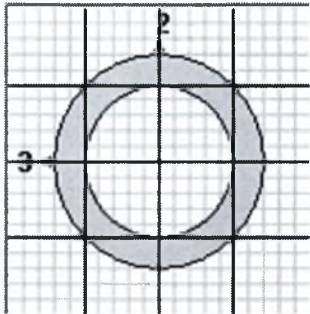
Με βάση τη μέση αυτή ιδιοτιμή υπολογίζεται σύμφωνα με τη γραμμική θεωρία ελαστικής ευστάθειας το ισοδύναμο μήκος λυγισμού των ευπαθών ράβδων, έστω δε ότι κάποια εξ αυτών έχει μήκος L. Τότε το ισοδύναμο μήκος λυγισμού της  $\alpha$  υπολογίζεται από την ισότητα  $\frac{k_{cr}^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 EI}{(\alpha L)^2}$ , μέσω του οποίου εύκολα βρίσκουμε ότι  $\alpha = 0.1701835$ . Το αντίστροφο αυτής της τιμής, δηλαδή **5.876** εισάγεται στη συνέχεια στο πρόγραμμα SAP 2000 ως Major unbraced length ratio, και επαναεπιλύεται η κατασκευή, κάνοντας χρήση νέας (ενιαίας για όλες τις ράβδους του θόλου) διατομής, με τα ακόλουθα γεωμετρικά, αδρανειακά και άλλα χαρακτηριστικά:

**Pipe Section**

**Section Name** FSEC1

Properties: Section Properties...  
 Property Modifiers: Set Modifiers...  
 Material: 6061 al

Dimensions:  
 Outside diameter (t3) 0,2  
 Wall thickness (tw) 0,03



Display Color

OK Cancel

**Property Data**

**Section Name** FSEC1

Properties:

Cross-section (axial) area	0,016	Section modulus about 3 axis	5,968E-04
Torsional constant	1,194E-04	Section modulus about 2 axis	5,968E-04
Moment of Inertia about 3 axis	5,968E-05	Plastic modulus about 3 axis	8,760E-04
Moment of Inertia about 2 axis	5,968E-05	Plastic modulus about 2 axis	8,760E-04
Shear area in 2 direction	8,176E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,061
Shear area in 3 direction	8,176E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,061

OK

Με το τρόπο αυτό λαμβάνεται άμεσα υπ' όψη η πραγματική καθολική άνω φράγματος συμπεριφορά έναντι λυγισμού του φορέα, και οι σχετικοί έλεγχοι με βάση γραμμική στατική ανάλυση αποτελούν σημαντική ένδειξη για



την επάρκεια της επιλεγείσης γεωμετρίας και διατομών. Τα αποτελέσματα αυτά μέσω του προγράμματος SAP 2000 κατέδειξαν πλήρη επάρκεια, ενδεικτικά δε παρατίθεται τα ακόλουθα δύο σχήματα, που αφορούν την εισαγωγή του ισοδύναμου μήκους λυγισμού στο λόγω λογισμικό και τα ευνοϊκά αποτελέσματα της σχετικής διαστασιολόγησης αντίστοιχα.

Aluminum Frame Design Overwrites for AA-ASD 2000

Item	Value
1 Current Design Section	Program Determined
2 Framing Type	Program Determined
3 Reduced Live Load Factor	Program Determined
4 Unbraced Length Ratio (Major)	5.876
5 Unbraced Length Ratio (Minor, LTB)	Program Determined
6 Effective Length Factor (K Major)	Program Determined
7 Effective Length Factor (K Minor)	Program Determined
8 Moment Coefficient (Cm Major)	Program Determined
9 Moment Coefficient (Cm Minor)	Program Determined
10 Bending Coefficient (Cb)	Program Determined
11 Buckling Constant (Compression), k1	Program Determined
12 Buckling Constant (Compression), k2	Program Determined
13 Buckling Constant (Bending), k1	Program Determined
14 Buckling Constant (Bending), k2	Program Determined
15 Safety Coefficient, kt	Program Determined
16 Redundancy Coefficient, r1	Program Determined

Item Description

Unbraced length factor for buckling about the frame object major axis. This item is specified as a fraction of the frame object length. Multiplying this factor times the frame object length gives the unbraced length for the object. Specifying 0 means the value is program determined.

For symmetrical sections major bending is bending about the local 3-axis. For unsymmetrical sections (e.g., angles) major bending is the bending about the section principal axis with the larger moment of inertia.

Explanation of Color Coding for Values

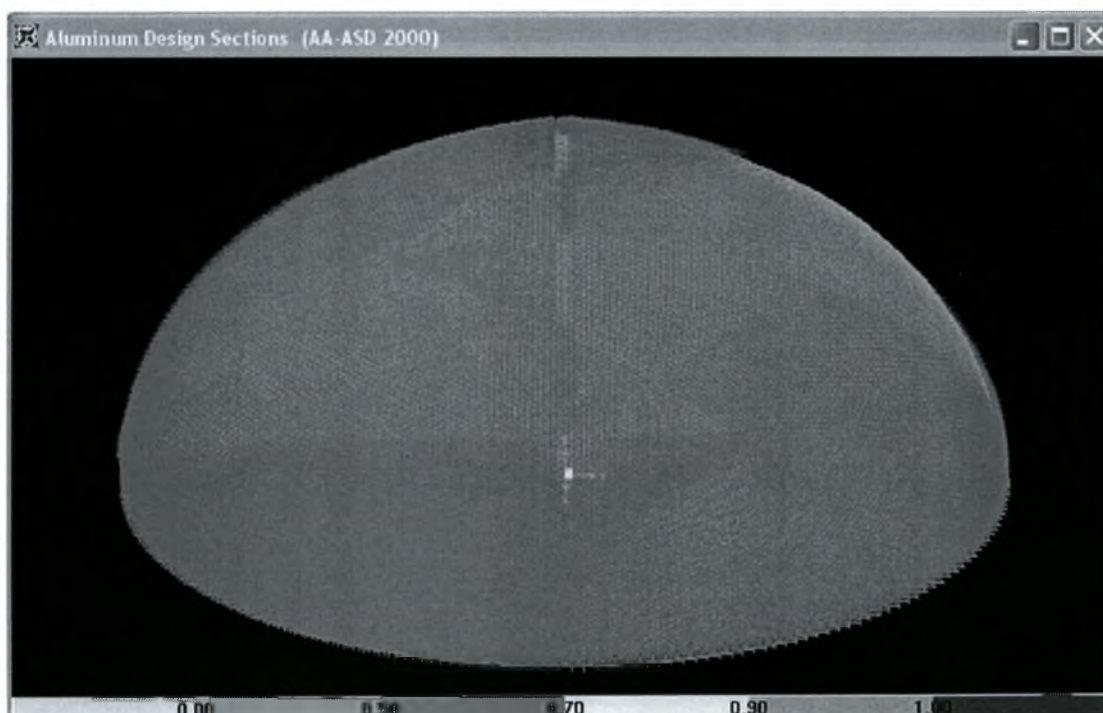
**Blue:** All selected items are program determined

**Black:** Some selected items are user defined

**Red:** Value that has changed during the current session

Set To Prog Determined (Default) Values:

Reset To Previous Values:



Στις τελευταίες βιβλιογραφικές αναφορές της παρούσας παρατίθενται ορισμένες μη γραμμικές μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας θολωτών κατασκευών, όπου καθίσταται προφανές ότι ο ακαριαίος αλλά και ο τοπικός λυγισμός λόγω οριζοντίων φορτίων αποτελεί μεγαλύτερο πρόβλημα από το αντίστοιχο λόγω κατακόρυφων φορτίων.

### **Γ7. Ανάλυση κανονικών μορφών (modal)**

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμος ο υπολογισμός των τριών πρώτων κανονικών μορφών ιδιοταλάντωσης της θολωτής κατασκευής (προϊόν γραμμικοποιημένης ανάλυσης), καθόσον αυτές διαδραματίζουν προτεύοντα ρόλο στη καθολική συμπεριφορά της κατασκευής, ιδία σε περιπτώσεις δυναμικών φορτίων (διεγέρσεων παντός είδους, όπως σεισμικών, ανέμου κλπ.). Σε περίπτωση εύρεσης ιδιοπεριόδων μεγάλης χρονικής διάρκειας ο χαρακτηρισμός της κατασκευής ως μη ευαίσθητης σε ταλαντώσεις – που υιοθετήθηκε μέχρι στιγμής – θα αποδεικνύονταν άστοχος.

Ο σχετικός υπολογισμός υπήρξε ευμενής, καθόσον και οι τρεις πρώτες κανονικές μορφές ιδιοταλάντωσης σχετίζονται με πολύ μικρές σχετικές μετακινήσεις, οι δε αντίστοιχες ιδιοπερίοδοι βρέθηκαν ίσες με:

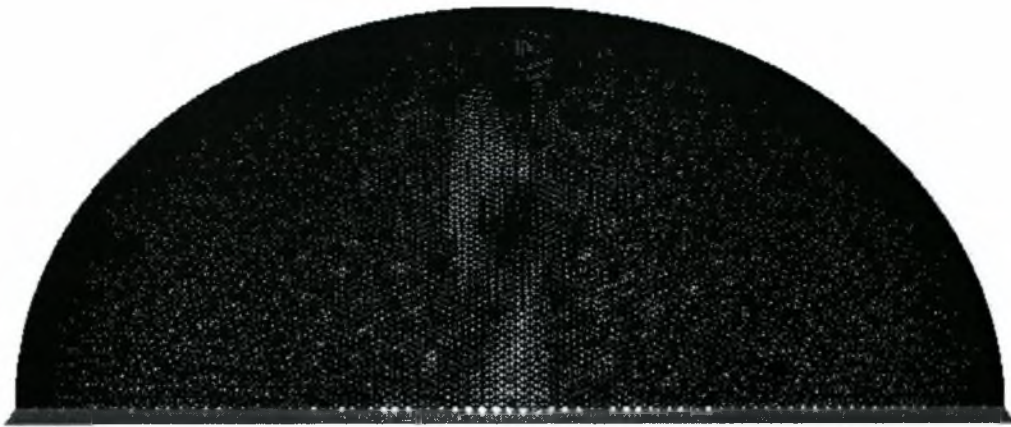
**1<sup>η</sup> κανονική μορφή**      ιδιοπερίοδος       $T_1 = 0.428975 \text{ sec}$

**2<sup>η</sup> κανονική μορφή**      ιδιοπερίοδος       $T_2 = 0.34536 \text{ sec}$

**3<sup>η</sup> κανονική μορφή**      ιδιοπερίοδος       $T_3 = 0.31401 \text{ sec}$

ενώ σχηματικά οι αντίστοιχες μορφές ιδιοταλάντωσης έχουν ως εξής:

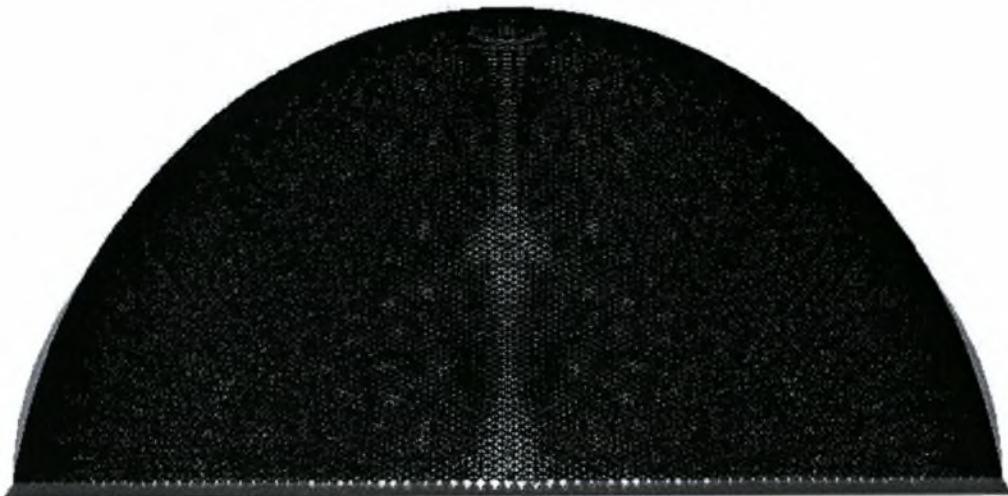
Deformed Shape - Mode 1 - Period 0.42898



Deformed Shape - Mode 2 - Period 0.34536



Deformed Shape - Mode 3 - Period 0.31400



**Γ8. Υπολογισμός ιδίου βάρους της κατασκευής**

Επιλύοντας το φορέα με μοναδική στατική φόρτιση το ίδιο βάρος των ράβδων (με διατομή την τελευταία επιλεγείσα) βρίσκεται το σύνολο των αντιδράσεων στηρίξεων, που προφανώς ισούται με το ίδιο βάρος της κατασκευής, μη λαμβανομένων υπ' όψη των κόμβων.

Βρέθηκε ότι το συνολικό βάρος των ράβδων της θολωτής κατασκευής ισούται με 54,709.203 kN (5470.92 t). Αν δε ληφθεί προσεγγιστικά ως βάρος κάθε κόμβου με τα ειδικά του τεμάχια  $10 \text{ kgf} = 0.1 \text{ kN}$ , το ίδιο βάρος της κατασκευής θα είναι  $G_{\text{tot}} = 23000 \times 0.1 + 54709.203 \approx 57000 \text{ kN}$ .

Αν ο θόλος κατασκευαζόταν από ολπισμένο σκυρόδεμα (κέλυφος εκ περιστροφής περιγεγραμμένο των κόμβων του θόλου) τότε για να είχε το αυτό ίδιο βάρος, το απαιτούμενο πάχος του κελύφους  $d$  υπολογίζεται ως εξής: Συνολική επιφάνεια θόλου  $S = \pi b^2 [ 1 + (a/b) \arcsin(e)/e ]$ , όπου  $b = 100\text{m}$  και  $a = 125\text{m}$  ενώ  $e=b/a=0.80$ , οπότε  $S = 94605.9 \text{ m}^2$ .

Ειδικό βάρος  $\Omega.\Sigma$   $25 \text{ kN/m}^3$  οπότε  $57000 = 94605.9 \times 25 \times d$ , και κατά συνέπεια  $d = 0.0241\text{m} = 2.41\text{cm}!!!!$

Επιπρόσθετα, ανάγοντας το ίδιο βάρος της κατασκευής ανά μέτρο μήκους της περιμέτρου στήριξης, το μήκος της οποίας είναι  $709.0417\text{m}$ , το ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο βρίσκεται ίσο με  $q = 80.39 \text{ kN/m}!!!!$

Αντίστοιχη αναγωγή στην επιφάνεια θόλου έχει ως αποτέλεσμα την ακόλουθη τιμή επιφανειακού φορτίου:  $0.602 \text{ kN/m}^2$  ( $G_{\text{tot}}/S$ ), ενώ ανάγοντας σε φορτίο οριζόντιας προβολής (με επιφάνεια  $\Sigma = 39269.9082 \text{ m}^2$ ) το ισοδύναμο φορτίο υπολογίζεται ίσο με :  $1.451 \text{ kN/m}^2$ .

### **Γ9. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα**

1. Για μια τόσο μεγάλη κατασκευή – σε φάση οριστικής μελέτης – δέον όπως οι ανεμοπιέσεις, πέραν του ακριβούς υπολογισμού τους, όπως προτάθηκε στη οικεία παράγραφο της παρούσας, συγκριθούν με αποτελέσματα προσομοιωμάτων ροής σε αεροσήραγγα, λαμβάνοντας υπ’ όψη κατά τον πλέον ακριβή τρόπο τα γεωγραφικά και κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής κατασκευής, ενώ σε περίπτωση ύπαρξης και ανοιγμάτων στη κατασκευή δέον όπως ληφθεί υπ’ όψη και η αντίστοιχη εσωτερική πίεση λόγω ανέμου.

2. Η μη γραμμική (τόσο στατική όσο και δυναμική) ανάλυση ευστάθειας της υπό μελέτη κατασκευής δύναται να πραγματοποιηθεί μέσω λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων, το οποίο κυριαρχεί παγκοσμίως την εποχή αυτή, και διαθέτει τη δυνατότητα υπολογισμού μη γραμμικών κανονικών μορφών, κρίσιμων φορτίων (τόσο τοπικού όσο και καθολικού λυγισμού) καθώς και μεταλυγισμικής ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς, με χρήση των πλέον διαδεδομένων υλικών, συμπεριλαμβανόμενων και των κραμάτων αλουμινίου σύμφωνα με τη παρούσα. Στις απεικονίσεις που ακολουθούν παρατίθενται ενημερωτικά στοιχεία για τα τρία πλέον διαδεδομένα προγράμματα της διεθνούς αγοράς, μέσω των οποίων δύναται να συνεχιστεί η έρευνα και να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα αναφορικά με την υπό ανάλυση θολωτή κατασκευή. Πρόκειται για τα προγράμματα MSc και NE Nastran, Adina και Ansys, ως ακολούθως:

**MSC SOFTWARE.** SIMULATING REALITY

**Innovation Through Simulation**

- Company
- Solutions
- Training & Support
- Store
- Investor Relations
- Quick Product Locator

**Introducing MSC.Nastran 2004**  
With new capabilities and customer-driven enhancements. [more](#)

**Virtual Test Rig**  
Suspension behavior can now be predicted in a virtual environment. [more](#)

MSC Software virtual product development solutions can help you to meet the demands of today's fast-moving automotive industry.

**MSC.Nastran Nonlinear**

MSC SOFTWARE

**Applications:**

- Simulate large deformations
- Better understand what happens when a product's material properties approach yield and the plastic range
- Study creep
- Simulate two or more parts coming into contact (gap and slideline)
- Nonlinear buckling

MSC.Nastran Nonlinear enables you to analyze models with material nonlinearities or geometric nonlinearities (that is, large deformations) or with parts contacting each other. That means you can investigate small-strain nonlinear elasticity, large-strain hyperelasticity, and plasticity effects, as well as visco-elasticity (creep), and nonlinear buckling and post-buckling situations like snap-through events. You can also investigate nonlinear normal modes.

MSC.Nastran Nonlinear also provides both static and transient analyses, so whether or not your loading conditions or part behavior changes over time, you have the ability to simulate its nonlinear performance.

As such, this product complements the linear static and normal modes capabilities offered by MSC.Nastran Basic, as well as the dynamic offered by MSC.Nastran Dynamics.

Map of MSC Software Corporate Headquarters  
Twin Towers Building - Santa Ana, CA, USA

**NE/Nastran**  
Finite Element Analysis

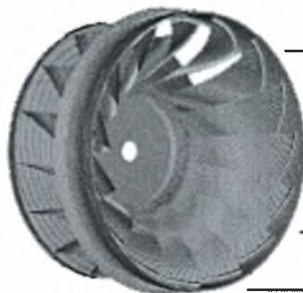
NE/Nastran represents the state-of-the-art in accurate, proven Finite Element Analysis (FEA) software for the PC platform. NE/Nastran offers a complete suite of cost-effective, structural analysis software solutions including: linear static, buckling, prestress, modal, dynamics, nonlinear, steady state, & transient heat transfer as well as specialized analysis types such as DDAM, composites, optimization, fatigue, CFD, and nonlinear transient response.

# A D I N A

The Finite Element System for Structures, Heat Transfer, and CFD

**A**UTOMATIC  
**D**YNAMIC  
**I**NCREMENTAL  
**N**ONLINEAR  
**A**NALYSIS

ADINA R & D, Inc. was founded in 1986 by Dr. K. J. Bathe and associates. The exclusive mission of the company is the development of the ADINA System for the analysis of solids, structures, fluids and fluid flow with structural interactions.



[mission statement](#)

[gallery showcase](#)

[contact ADINA R&D](#)

[job opportunities](#)

[educational usage](#)

ADINA R & D, Inc.

71 Elton Avenue  
Watertown, MA 02472, USA  
Tel: (617) 926-5199  
Fax: (617) 926-0238

**ANSYS**<sup>®</sup>

ANSYS, Inc. Open and flexible simulation software solutions for every phase of product design.

**ANSYS Incorporated**

**ANSYS, Inc.**

**Locations:**  
ANSYS, Inc. Global Headquarters  
Southpointe  
275 Technology Drive  
Canonsburg, PA 15317  
Tel: 724.746.3304  
Fax: 724.514.9494

NOW AVAILABLE

**ANSYS 8.0**

NEW FEATURES

Τόσον ο συντάκτης όσον και ο επιβλέπων της παρούσας οφείλουν να ευχαριστήσουν τον επίκουρο καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ κ. Χ. Γαντέ για την αμέριστη συμπαράσταση του και τις εύστοχες – εποικοδομητικές επεμβάσεις και παρατηρήσεις του, όσον αφορά το όλο περιεχόμενο της παρούσας.

# Βιβλιογραφία



## **Βιβλιογραφία**

1. Bayley, M.J., Materials for aluminum structures. *In Proceedings of the International Conference on Steel and Aluminum Structures*, Cardiff, UK, 8-10 July 1987, Ed. R. Narayanan, Elsevier Applied Science
2. Bulson, P.S. and Cullimore, M.S.G., Design principles and problems, Chapter 1, *Aluminum Structural Analysis-Recent European Advances*. Ed. P.S. Bulson, 1992, Elsevier Applied Science
3. Chen, W. F., *Structural stability: from theory to practice*, Engineering Structures 22(2), 116-122, 1999
4. Cowan, Henry J.: *Architectural Structures*. NY, NY: Van Nostrand Reinhold, 1991.
5. ECCS, *European Recommendations for Aluminum Alloy Structures*, First edn., 1978
6. ECCS-IABSE-SSCR,CRC, *Introductory Report*, Second Int. Colloquium on Stability, 1976
7. Geometrica Inc.,*Information booklet*, 908 Town & Country Blvd. Ste. 330 Houston, TX 77024
8. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*
9. Kenner, H. *Geodesic Math and How to Use It*. Berkeley, CA: University of California Press, 1976.
10. Nakayama, M., Sasaki, Y., Masuda, K., Ogawa, T., *An efficient method for selection of vibration modes contributory to wind response of dome-like roofs*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 73, 31-43,1998

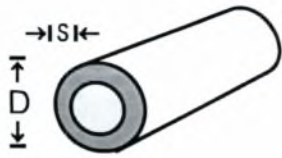
11. Sharp, M., Behavior and Design of Aluminium Structures, MacGraw-Hill, New York, 1993
12. Wright, D.T., Member forces and Buckling in Reticulated Shells, Proceedings ASCE Structural Division, 91, pp. 193-201, Feb. 1965.
13. ΕΛΟΤ, *Ευροκώδικας 9: ENV-1999-01-01: Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο- Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες- Γενικοί κανόνες και κανόνες για τα κτίρια*, 1998.
14. McConnel, R.E. Stability Analysis of Single Layer, Reticulated Structures, NASTRAN User's Conf. April, 1978.
15. Rothert, H. Snap-Through Buckling of Reticulated Space Trusses, Journal of Structural Division, ASCE, 107(1), 129 – 143, 1981.
16. Yamada, S., Takeuchi, A., Tada, Y., Tsutsumi, K. Imperfection-Sensitive Overall Buckling of Single-Layer Latticed Domes, Journal of Engineering Mechanics (ASCE), 127(4), 382 -386, 2001.
17. Uchiyama, M., Yamada, S. Nonlinear Buckling Simulations of Imperfect Shell Domes by Mixed Finite Elements, Journal of Engineering Mechanics (ASCE), 129(7), 707 -714, 2003.
18. Sophianopoulos ,D.S. Non-linear stability of simplified structural models simulating elastic shell panels of revolution under step loading. International Journal of Solids and Structure 38 (5), 915-934,2001.

# Παράρτημα Α

Πίνακες σωληνωτών διατομών  
από κράματα αλουμινίου



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

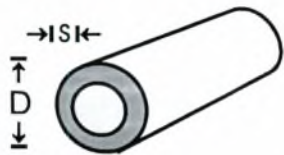


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
4	0,5	0,015									6060			
4	1	0,025	1050A					5754			6060			
5	0,5	0,019									6060			
5	0,75	0,027						5754						
5	1	0,034	1050A								6060			
6	0,5	0,023									6060			
6	1	0,042	1050A								6060			
6	1,5	0,057									6060			
6	1,75	0,063									6060			
7	0,5	0,028	1050A											
7	1	0,051						5754			6060			
7	1,5	0,070									6060			
8	1	0,059	1050A	2007							6060			
8	1,5	0,083		2007				5754			6060			
8	2	0,102		2007				5754			6060			
8	2,5	0,117									6060			
9	0,5	0,036	1050A											
9	1	0,068									6060			
9	1,5	0,095		2007										
9	3	0,153									6060			
10	0,75	0,059									6060			
10	1	0,076	1050A								6060			
10	1,5	0,108		2007				5754			6060			
10	2	0,136		2007							6060			
10	2,5	0,159		2007							6060			
10	3	0,178									6060			
11	2	0,153		2007										
12	0,75	0,072									6060			
12	1	0,093	1050A	2007				5754			6060			
12	1,2	0,110									6060			
12	1,5	0,134		2007							6060			
12	2	0,170	1050A	2007							6060			
12	2,5	0,201		2007							6060			
12	3	0,229		2007							6060			
12	3,5	0,252		2007										
13	1	0,102	1050A								6060			
13	1,1	0,111	1050A								6060			
13	1,5	0,146									6060			
13	2	0,187									6060			
13	2,5	0,223		2007							6060			
13	3	0,254									6060			
14	1	0,110		2007							6060			
14	1,5	0,159		2007				5754			6060			
14	2	0,204	1050A	2007							6060			
14	2,5	0,244		2007							6060			
14	3	0,280									6060			



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

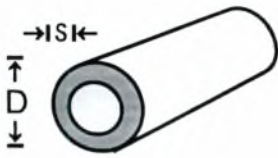


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
14	4	0,339						5754						
14,6	2,05	0,218		2007										
15	1	0,119						5754			6060			
15	1,5	0,172	1050A								6060			
15	2	0,221		2007			5083	5754			6060			
15	2,25	0,243		2007										
15	2,5	0,265		2007			5083				6060			
15	3	0,305		2007							6060			
15	4	0,373		2007										
16	1	0,127	1050A	2007							6060			
16	1,5	0,184	1050A	2007				5754			6060			
16	1,75	0,212		2007										
16	2	0,238		2007										
16	2,5	0,286					5083				6060			
16	3	0,331		2007							6060		7020	
16	3,85	0,397									6060			
16	4	0,407	1050A	2007							6060			
16	5	0,467					5083			6012				
17	1	0,136									6060			
17	1,2	0,161						5754						
17	3	0,356		2007										
18	1	0,144	1050A								6060			
18	1,2	0,171									6060			
18	1,5	0,210		2007				5754			6060			
18	2	0,271	1050A	2007				5754			6060			
18	2,5	0,329									6060			
18	3	0,382	1050A	2007							6060			
18	3,5	0,430		2007										
18	4	0,475		2007				5754		6012	6060			
18	5	0,551			2017A									
19	0,5	0,078									6060			
19	1	0,153									6060			
19	1,5	0,223									6060		7020	
19	2	0,288						5754			6060			
19	2,5	0,350		2007										
20	0,5	0,083				2024								
20	1	0,161		2007			5083				6060			
20	1,5	0,235		2007				5754			6060		7020	
20	2	0,305	1050A	2007				5754			6060	6082		
20	2,5	0,371		2007				5754			6060			
20	3	0,433		2007							6060			
20	3,4	0,479									6060			
20	3,5	0,490						5754			6060			
20	3,8	0,522						5754			6060			
20	4	0,543		2007							6060			
20	5	0,636		2007							6060			



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

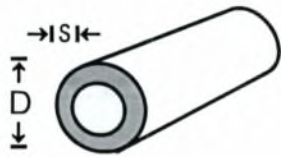


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
20	6	0,713		2007							6060			
21	1,5	0,248	1050A											
21	3	0,458					5754							
21	5	0,679		2007										
22	1	0,178	1050A	2007						6060				
22	1,5	0,261		2007			5754			6060		7020		
22	2	0,339		2007						6060				
22	2,5	0,414		2007						6060				
22	3	0,483	1050A	2007			5754							
22	4	0,611	1050A	2007										
22	5	0,721		2007										
22	6	0,814		2007										
23	1	0,187		2007										
23	2	0,356		2007										
23	3	0,509		2007										
23	3,5	0,579											7020	
23	4,5	0,706		2007										
23	6	0,865		2007										
24	1,5	0,286	1050A	2007						6060				
24	3	0,534		2007										
24	5	0,806		2007										
24	5,5	0,863		2007										
25	1	0,204				2024				6060				
25	1,5	0,299		2007					6012	6060		7020		
25	2	0,390	1050A	2007		2024		5754		6060		7020		
25	2,5	0,477	1050A	2007			5083			6060		7020		
25	3	0,560	1050A	2007			5083	5754		6060		7020		
25	4	0,713		2007				5754						
25	5	0,848		2007				5754		6060				
25	6	0,967		2007										
25	6,5	1,020		2007										
26	2	0,407		2007				5754						
26	3	0,585		2007										
26	3,5	0,668								6012				
26	4	0,746		2007						6012				
26	6	1,018								6012				
27	2	0,424						5754						
27	3	0,611		2007						6060				
27	4	0,780		2007										
28	1	0,229	1050A	2007										
28	1,5	0,337	1050A					5754		6060				
28	2	0,441						5754		6060				
28	2,5	0,541								6060				
28	3	0,636		2007				5754		6060				
28	3,5	0,727		2007										
28	4	0,814		2007						6012			7020	



WESTDEUTSCHER  
METALL-HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH



## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
28	5	0,975		2007			5083				6060			
28	6	1,120		2007			5083							
29	1,5	0,350		2007										
30	1	0,246										6082		
30	1,5	0,363			2017A									
30	2	0,475	1050A	2007						6060				
30	2,5	0,583		2007			5754							
30	3	0,687	1050A	2007			5083	5754		6060	6082			
30	4	0,882	1050A	2007			5083			6060		7020		
30	5	1,060		2007			5083	5754						
30	6	1,221		2007				6005A	6012					
30	7	1,366		2007										
30	7,5	1,431					6005A		6060					
30	9	1,603		2007										
30	10	1,696		2007										
31	3	0,713	1050A				5754							
31	6,5	1,351		2007										
31	8	1,561		2007										
32	1	0,263			2024									
32	1,5	0,388					5754					7020		
32	2	0,509		2007						6060				
32	2,5	0,626		2007										
32	3	0,738		2007	2017A									
32	4	0,950	1050A	2007						6060				
32	5	1,145		2007										
32	6	1,323		2007										
32	7	1,484		2007										
32	7,5	1,559					5754							
32	10	1,866		2007					6012					
32	11	1,959		2007										
33	1,5	0,401		2007										
33	2,5	0,647											7020	
33	3	0,763	1050A	2007										
33	4	0,984	1050A	2007										
33	6	1,374							6012					
33,5	3,25	0,834	1050A											
34	2	0,543											7020	
34	2,5	0,668		2007										
34	3	0,789		2007										
34	4	1,018		2007					6012					
34	5	1,230		2007										
35	1	0,288	1050A											
35	1,5	0,426		2007						6060		7020		
35	2	0,560	1050A	2007			5083	5754		6060		7020		
35	2,5	0,689		2007						6060				
35	3	0,814		2007			5083	5754		6060				

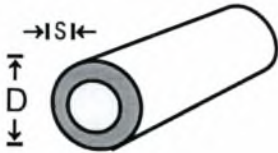








WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

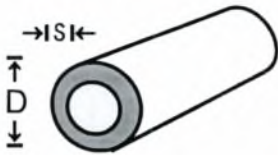


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight		AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu	
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div		
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030		
48	6,5	2,288		2007												
48	8	2,714		2007												
48	12	3,664		2007												
49	10	3,308		2007												
50	1	0,416	1050A													
50	1,5	0,617	1050A	2007							6060					
50	2	0,814		2007				5754			6060					
50	2,5	1,007	1050A	2007				5754			6060					
50	3	1,196		2007				5754			6060					
50	4	1,561		2007			5083	5754					7020			
50	5	1,909	1050A	2007			5083	5754	6005A		6060					
50	6	2,239		2007				5754			6060					
50	7	2,553		2007											7075	
50	8	2,850		2007				5754			6060					
50	10	3,393		2007					6005A							
50	12	3,868		2007				5754								
50	15	4,453		2007												
51	2	0,831									6060					
51	4	1,595						5754								
52	2	0,848		2007												
52	3	1,247		2007												
52	4	1,629		2007												
52	5	1,993		2007												
52	6	2,341		2007												
52	8	2,986		2007				5754								
52	9	3,283									6060					
52	10	3,563		2007												
53	4	1,663						5754								
53	4,5	1,851		2007												
53	10	3,647		2007												
53	11,5	4,048		2007												
54	2	0,882		2007												
54	3	1,298		2007												
54	4	1,696		2007												
54	5	2,078		2007												
54	6	2,443									6012					
54	7	2,791		2007												
54	10	3,732		2007												
54	14	4,750		2007												
55	2	0,899									6060					
55	2,5	1,113	1050A	2007							6060					
55	3	1,323		2007												
55	5	2,121		2007							6060		7020			
55	6	2,494		2007							6012					
55	8	3,189		2007												
55	10	3,817		2007					6005A							



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH



## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
55	12	4,377										6082		
55	14	4,869		2007										
55	15	5,089		2007										
55	17,5	5,567		2007										
56	3	1,349	1050A				5754				6060			
56	3,5	1,559					5754							
56	4	1,764							6012					
56	8	3,257		2007										
56	10	3,902		2007					6012					
56	16	5,429		2007										
57	3	1,374							6012					
57	4	1,798		2007										
57	5	2,205	1050A											
58	1,4	0,672										6082		
58	5	2,248		2007										
58	8,5	3,569		2007										
58	10	4,072		2007										
58	16	5,700		2007										
59	11	4,479		2007										
60	1	0,500	1050A											
60	1,5	0,744		2007									7020	
60	2	0,984		2007						6060				
60	2,5	1,219		2007										
60	3	1,450	1050A	2007			5754	6005A	6060	6082				
60	3,5	1,677					5754							
60	4	1,900		2007		5083	5754		6060					
60	5	2,333	1050A	2007		5083	5754		6060	6082	7020			
60	6	2,748		2007		5083			6060					
60	8	3,529		2007		5083	5754	6005A	6060					
60	10	4,241		2007			5754	6005A	6060					
60	12	4,886		2007										
60	14	5,463		2007										
60	15	5,726		2007				6005A						
60	20	6,786		2007						6060				
61	5	2,375	1050A											
61	11	4,665					5754							
61	13	5,293		2007										
62	2	1,018	1050A											
62	5	2,417		2007										
62	6	2,850		2007						6060				
62	7	3,266		2007										
62	8	3,664		2007										
62	9	4,046		2007										
62	12	5,089		2007										
62	13	5,403		2007										
63	2	1,035					5754							

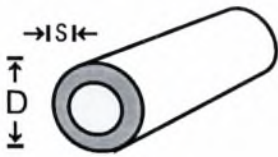








WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

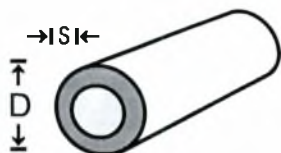


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight		AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu	
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div		
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030		
100	10	7,634		2007			5083		6005A		6060					
100	15	10,815		2007					6005A							
100	16	11,400							6005A							
100	20	13,572		2007					6005A							
100	25	15,904		2007					6005A							
100	30	17,813		2007								6082				
102	5	4,114		2007												
102	6	4,886							6005A		6060					
102	8	6,379		2007						6012						
102	8,5	6,741									6060					
102	10	7,804		2007												
102	12,5	9,490							6005A							
105	2,5	2,174						5754								
105	5	4,241		2007						6012						
105	6	5,038						5754								
105	8	6,582		2007						6012						
105	10	8,058		2007					6005A							
105	15	11,451									6060					
106	2	1,764	1050A													
106	3	2,621	1050A				5083	5754			6060					
106	15	11,578							6005A							
107	5,5	4,735		2007												
108	3	2,672						5754								
108	4	3,529	1050A					5754			6060					
108	5	4,368	1050A	2007												
110	3	2,723									6060					
110	5	4,453	1050A	2007			5083	5754			6060	6082	7020			
110	8	6,922					5083									
110	10	8,482		2007					6005A	6012	6060					
110	15	12,087		2007								6082				
110	16	12,757		2007												
110	20	15,268		2007				5754								
110	25	18,025		2007				5754								
110	30	20,358		2007												
112	6	5,395									6060					
114	3	2,825	1050A					5754								
114	5	4,623	1050A	2007												
114	8	7,193									6060					
114	10	8,822									6060					
114,55	11,275	9,877									6060					
120	2	2,002	1050A													
120	2,5	2,492						5754								
120	3	2,977									6060					
120	5	4,877		2007				5754	6005A		6060	6082				
120	6	5,802		2007							6060	6082				
120	7	6,710									6060					



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH



## Rundrohre round tubes

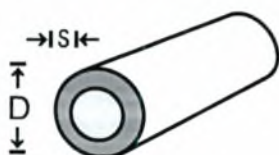
Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
120	8	7,600							6005A		6060			
120	10	9,331		2007					6005A		6060			
120	12,5	11,398							6005A				7020	
120	15	13,360		2007				5754	6005A		6060			
120	20	16,965		2007				5754	6005A					
120	25	20,146		2007					6005A					
120	30	22,902		2007									6082	
122	7	6,828									6060			
125	3	3,105									6060			
125	5	5,089							6005A					
125	8,5	8,400		2007										
125	10	9,755						5754	6005A		6060			
125	15	13,996		2007										
125	16	14,793		2007										
125	20	17,813		2007										
130	3	3,232									6060			
130	4	4,275									6060			
130	5	5,301		2007				5754			6060		7020	
130	6	6,311						5754						
130	10	10,179		2007					6005A		6060			
130	12,5	12,458		2007										
130	15	14,632		2007					6005A		6060			
130	20	18,661		2007					6005A					
130	25	22,266		2007										
130	30	25,447		2007										
130	40	30,536		2007										
131	2,5	2,725		2007										
131	3	3,257	1050A					5754						
132	18,5	17,811		2007										
132	20	19,000									6060			
133	3	3,308									6060			
133	4	4,377	1050A					5754						
135	5	5,514						5754	6005A					
135	10	10,603									6060			
135	30	26,719								6012				
140	2	2,341	1050A											
140	5	5,726					5083				6060			
140	6	6,820						5754						
140	7	7,897		2007										
140	7,5	8,429							6005A					
140	10	11,027	1050A		2017A		5083		6005A		6060	6082		
140	15	15,904		2007					6005A	6012				
140	17,5	18,184						5754						
140	20	20,358		2007							6060	6082		
140	25	24,387							6005A					
140	30	27,992		2007								6082		





WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL

FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

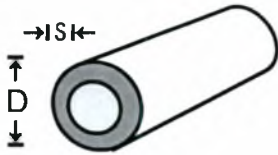


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
144	11	12,410									6060			
144	20,5	21,475									6060			
144,3	11	12,438									6060			
150	2	2,511									6060			
150	3	3,741									6060			
150	5	6,150		2007				6005A			6060			
150	6	7,329		2007										
150	7,5	9,065									6060			
150	10	11,875		2007			5083		6005A		6060			
150	12	14,047		2007					6005A					
150	12,5	14,579										6082		
150	15	17,177		2007					6005A		6060	6082		
150	17,5	19,668									6060			
150	20	22,054		2007					6005A		6060	6082		
150	22,5	24,334										6082		
150	25	26,507		2007							6060	6082		
150	30	30,536		2007							6060	6082		
150	40	37,322										6082		
152	6	7,431									6060			
152	10	12,045									6060			
154	2	2,579						5754						
155	3	3,868						5754						
156	3	3,893	1050A					5754			6060	6082		
157	3,5	4,557						5754						
159	2,5	3,319							6005A					
159	3	3,970						5754						
159	4,5	5,897	1050A								6060			
160	3	3,995						5754			6060	6082		
160	4	5,293									6060			
160	5	6,574		2007				5754			6060	6082		
160	6	7,838									6060			
160	8	10,315					5083		6005A		6060			
160	10	12,723	1050A	2007			5083	5754	6005A		6060	6082		
160	12	15,065		2007							6060			
160	15	18,449		2007					6005A		6060	6082		
160	20	23,750		2007					6005A	6012	6060	6082		
160	25	28,628						5754						
160	30	33,081		2007							6060			
160	35	37,110										6082		
161	4	5,327							6005A					
166	8	10,722	1050A											
166	20	24,768										6082		
168	4	5,564	1050A					5754						
168	4,5	6,241	1050A											
170	3	4,250									6060			
170	5	6,998							6005A		6060	6082		



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

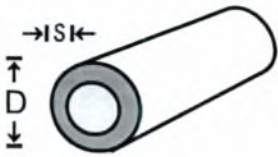


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
170	10	13,572		2007					6005A		6060	6082		
170	12,5	16,700									6060			
170	15	19,721							6005A		6060	6082		
170	20	25,447		2007					6005A		6060	6082		
170	30	35,626		2007										
170	35	40,079					5083							
170	40	44,108									6060			
173	6,5	9,180											6082	
175	5	7,210									6060			
180	4	5,972									6060			
180	5	7,422							6005A		6060	6082		
180	6	8,856							6005A		6060	6082		
180	10	14,420		2007			5083		6005A		6060	6082		
180	15	20,994		2007			5083		6005A		6060	6082		
180	17,5	24,122		2007										
180	20	27,143		2007					6005A		6060	6082		
180	25	32,869											6082	
180	30	38,170		2007									6082	
180	40	47,501									6060	6082		
180	55	58,316											6082	
182	11	15,955									6060			
183	4	6,073									6060			
185	10	14,844		2007					6005A		6060			
185	20	27,992		2007										
190	3	4,759							6005A		6060			
190	3,5	5,537						5754			6060			
190	5	7,846	1050A										6082	
190	6	9,364									6060			
190	10	15,268		2007					6005A		6060	6082		
190	15	22,266		2007										
190	20	28,840		2007									6082	
192	17	25,235									6060			
194	5	8,016											6082	
195	12,5	19,350									6060			
197	6	9,721											6082	
200	3	5,013							6005A		6060			
200	4	6,650							6005A		6060	6082		
200	5	8,270									6060	6082		
200	6	9,873							6005A		6060	6082		
200	8	13,029									6060	6082		
200	10	16,116		2007			5083		6005A		6060	6082		
200	12,5	19,880							6005A		6060	6082		
200	15	23,538							6005A			6082		
200	20	30,536		2007					6005A		6060	6082		
200	25	37,110		2007							6060	6082		7022
200	30	43,260		2007					6005A			6082		



WESTDEUTSCHER  
METALL - HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH

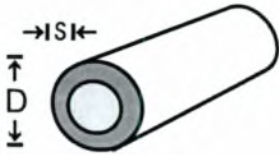


## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
200	40	54,287									6060	6082		
200	50	63,617										6082		
205	12	19,645										6082		
206	3	5,166						5754			6060	6082		
208	4	6,922	1050A					5754			6060			
210	5	8,694							6005A		6060	6082		
210	6	10,382										6082		
210	10	16,965							6005A		6060	6082		
210	15	24,811										6082		
210	20	32,233							6005A		6060	6082		
210	35	51,954							6005A					
212	6	10,484	1050A											
219	4	7,295						5754			6060			
219	5	9,076	1050A				5083	5754			6060			
220	5	9,118							6005A		6060	6082		
220	8	14,386	1050A						6005A			6082		
220	10	17,813	1050A						6005A		6060	6082		
220	15	26,083							6005A		6060	6082		
220	20	33,929									6060	6082		
220	25	41,351		2007					6005A			6082		
220	30	48,349									6060	6082		
221,5	30,75	49,754									6060			
225	10	18,237										6082		
230	5	9,543	1050A						6005A			6082		
230	10	18,661							6005A			6082		
230	15	27,355							6005A			6082		
230	20	35,626							6005A			6082		
230	25	43,472							6005A					
230	30	50,894									6060	6082		
230	33	55,144										6082		
235	25	44,532							6005A					
240	5	9,967							6005A			6082		
240	10	19,509					5083		6005A			6082		
240	12,5	24,122									6060			
240	15	28,628							6005A		6060	6082		
240	20	37,322		2007					6005A		6060	6082		
240	30	53,439										6082		
245	10	19,933										6082		
248	9,5	19,219									6060			
250	5	10,391						5754	6005A		6060			
250	8	16,422							6005A		6060	6082		
250	10	20,358							6005A		6060	6082		
250	15	29,900					5083		6005A		6060	6082		
250	20	39,019									6060	6082		
250	50	84,823										6082		
254	6	12,622									6060			



WESTDEUTSCHER  
METALL-HANDEL  
FRIEDRICH W. HERMANN  
GMBH



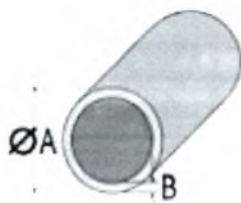
## Rundrohre round tubes

Abmessung size in mm		Metergewicht weight	AL 99,5	Al Cu Mg Pb	Al Cu Mg 1	Al Cu Mg 2	Al Mg 4,5 Mn	Al Mg 3	Al Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,7	AL Mg Si 0,5	AL Mg Si 1	AlZn 4,5 Mg 1	AL Zn Mg Cu
D	s	kg/m	1050A	2007	2017A	2024	5083	5754	6005A	6012	6060	6082	7020	div
Gewichtsmultiplikator:			1,000	1,056	1,037	1,026	0,985	0,985	1,000	1,019	1,000	1,000	1,026	1,030
258	4	8,618									6060			
260	5	10,815						5754	6005A		6060	6082		
260	10	21,206							6005A			6082		
260	12	25,243								6060		6082		
260	15	31,173										6082		
260	20	40,715								6060		6082		
260	30	58,528										6082		
262	2	4,411								6060				
262	35,75	68,609								6060				
266	8	17,508	1050A											
270	15	32,445							6005A					
273	4	9,127						5754						
273	4,5	10,249								6060				
273	10,5	23,379							6005A					
280	10	22,902							6005A			6082		
280	15	33,717										6082		
280	30	63,617										6082		
285	20	44,956								6060		6082		
285	25	55,135								6060				
300	4	10,043								6060				
300	10	24,599							6005A		6060	6082		
300	16	38,544								6060				
300	60	122,145										6082		
301	4	10,077								6060				
301	16,5	39,818										6082		
303	18	43,514								6060		6082		
303	26,5	62,152							6005A					
308	4	10,315						5754						
310	20	49,197								6060				
310	27,5	65,897								6060				
318	9	23,589								6060				
320	10	26,295								6060				
320	15	38,807								6060				
322	17	43,981								6060				
323,9	4	10,854						5754						
324	6,5	17,505								6060				
330	10	27,143										6082		
330	29	74,042					5083							
350	10	28,840								6060				
355	15	43,260								6060				
355,6	4	11,930						5754						
365	25,5	73,434								6060				
375	20	60,224								6060				
380	10	31,385								6060				
384	12	37,865								6060				
386	20	62,091								6060				



## Aluminium Tubes

### Round Tubes



ØA, B .... Size in Millimeter (mm)

EN 573-3  
EN 755-1  
EN 755-2  
EN 755-8  
DIN 1748

Article	ØA	B	Weight	L	Circumference	Alloy EN	Disp.
Tubes Round	6	1	0,04 kg/m	6m	19 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	6	1,5	0,05 kg/m	6m	19 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	8	1	0,06 kg/m	6m	25 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	8	1,5	0,09 kg/m	6m	25 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	8	2	0,11 kg/m	6m	25 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	10	1	0,08 kg/m	6m	31 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	10	1,5	0,11 kg/m	6m	31 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	10	2	0,14 kg/m	6m	31 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	12	1	0,09 kg/m	6m	38 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	12	1,5	0,13 kg/m	6m	38 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	12	2	0,17 kg/m	6m	38 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	13	1,5	0,15 kg/m	6m	41 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	13	2	0,19 kg/m	6m	41 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	14	2	0,20 kg/m	6m	44 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	14	3	0,28 kg/m	6m	44 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	15	1	0,12 kg/m	6m	47 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	15	1,5	0,17 kg/m	6m	47 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	15	2	0,22 kg/m	6m	47 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	15	2,5	0,27 kg/m	6m	47 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	16	1	0,13 kg/m	6m	50 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	16	1,5	0,18 kg/m	6m	50 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	16	2	0,24 kg/m	6m	50 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	16	3	0,33 kg/m	6m	50 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	16	4	0,41 kg/m	6m	50 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	18	1,5	0,21 kg/m	6m	57 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	18	2	0,27 kg/m	6m	57 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	18	3	0,38 kg/m	6m	57 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	1	0,17 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	1,2	0,20 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	1,5	0,24 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	2	0,31 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	2,5	0,37 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	3	0,43 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	20	5	0,63 kg/m	6m	63 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	21	3	0,46 kg/m	6m	66 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	22	1,5	0,27 kg/m	6m	69 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	22	2	0,34 kg/m	6m	69 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	22	3	0,48 kg/m	6m	69 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	23	1,5	0,28 kg/m	6m	73 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	24	2	0,38 kg/m	6m	69 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	1	0,20 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	1,5	0,30 kg/m	<b>3m</b>	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	1,5	0,30 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	2	0,39 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	2,5	0,48 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	3	0,56 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	3,5	0,64 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	25	5	0,85 kg/m	6m	79 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	27	2,5	0,52 kg/m	6m	85 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	27	6	1,08 kg/m	6m	85 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock

Article	ØA	B	Weight	L	Circumference	Alloy EN	Disp.
Tubes Round	28	1,5	0,34 kg/m	6m	88 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	28	2	0,44 kg/m	6m	88 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	28	3	0,64 kg/m	6m	88 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	28	4	0,82 kg/m	6m	88 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	28	5	0,98 kg/m	6m	88 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	1	0,25 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	1,5	0,36 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	2	0,48 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	2,5	0,59 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	3	0,69 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	4	0,89 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	5	1,06 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	30	7,5	1,44 kg/m	6m	94 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	31	2,5	0,61 kg/m	6m	97 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	31	3	0,72 kg/m	6m	97 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock
Tubes Round	32	1,5	0,39 kg/m	6m	101 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	32	2	0,51 kg/m	6m	101 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	32	3	0,75 kg/m	6m	101 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	33,5	3,25	0,84 kg/m	6m	105 mm	EN AW-1050 / Al 99,5	Stock
Tubes Round	33,7	3	0,79 kg/m	6m	106 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	34	4	1,02 kg/m	6m	107 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	1,5	0,43 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	2	0,56 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	2,5	0,69 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	3	0,81 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	3	0,81 kg/m	6m	110 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock
Tubes Round	35	4	1,05 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	5	1,27 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	35	5,5	1,38 kg/m	6m	110 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	36	2	0,58 kg/m	6m	113 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	37	3	0,87 kg/m	6m	116 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	38	1,5	0,46 kg/m	6m	119 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	38	3	0,89 kg/m	6m	119 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	38	4	1,15 kg/m	6m	119 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	1,5	0,50 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	2	0,64 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	2	0,64 kg/m	7,15m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	2,5	0,80 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	3	0,94 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	4	1,20 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	5	1,50 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	40	8	2,18 kg/m	6m	126 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	42	2	0,68 kg/m	6m	132 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	42	2,5	0,84 kg/m	6m	132 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	42	3	1,00 kg/m	6m	132 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	42	5	1,57 kg/m	6m	132 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	45	1,5	0,56 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	45	2	0,72 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	45	2,5	0,90 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	45	3	1,07 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock

Article	ØA	B	Weight	L	Circumference	Alloy EN	Disp.
Tubes Round	45	5	1,70 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	45	5	1,70 kg/m	6m	141 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock
Tubes Round	45	7,5	2,40 kg/m	6m	141 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	48	2	0,78 kg/m	6m	151 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	48	3	1,20 kg/m	6m	151 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	48,3	4,05	1,54 kg/m	6m	152 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	48	5	1,85 kg/m	6m	151 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	48,3	6	2,16 kg/m	6m	152 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	1,5	0,62 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	2	0,82 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	2,5	1,01 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	3	1,20 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	4	1,56 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	5	1,91 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	6	2,24 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	50	6	2,24 kg/m	6m	157 mm	EN AW-5005 / AlMg1	Stock
Tubes Round	50	6	2,24 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6082 / AlSi 1MgMn	Stock
Tubes Round	50	6	2,28 kg/m	6m	157 mm	EN AW-7075 / AlZn5,5MgCu	Stock
Tubes Round	50	10	3,40 kg/m	6m	157 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	51	1,9	0,79 kg/m	6m	160 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	52	1,5	0,65 kg/m	6m	164 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	55	2	0,90 kg/m	6m	173 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	55	2,5	1,10 kg/m	6m	173 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	55	5	2,12 kg/m	6m	173 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	56	3	1,38 kg/m	6m	176 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	58	3	1,40 kg/m	6m	182 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	1	0,50 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	1,5	0,75 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	2	1,00 kg/m	<b>3,5m</b>	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	2	1,00 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	2,5	1,22 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	3	1,50 kg/m	3m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	3	1,50 kg/m	<b>3,5m</b>	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	3	1,50 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	3	1,50 kg/m	<b>7m</b>	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	4	1,90 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	5	2,33 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	6	2,75 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	10	4,24 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	11	4,57 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	60	20	6,80 kg/m	6m	189 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	62	2	1,02 kg/m	6m	195 mm	EN AW-1050 / Al99,5	Stock
Tubes Round	63	1,5	0,80 kg/m	6m	198 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	63	3	1,53 kg/m	6m	198 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	63	8	3,73 kg/m	6m	198 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	65	2	1,07 kg/m	6m	204 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	65	2,5	1,33 kg/m	6m	204 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	65	4	2,07 kg/m	6m	204 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	65	5	2,55 kg/m	6m	204 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	65	5	2,55 kg/m	6m	204 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock



Article	ØA	B	Weight	L	Circumference	Alloy EN	Disp.
Tubes Round	66	2,5	1,35 kg/m	6m	207 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	66	3	1,60 kg/m	6m	207 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	70	2	1,16 kg/m	6m	220 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	70	3	1,70 kg/m	6m	220 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	70	4	2,24 kg/m	6m	220 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	70	5	2,76 kg/m	6m	220 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	70	7	3,74 kg/m	6m	220 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	72	4	2,31 kg/m	6m	226 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	75	5	3,02 kg/m	6m	236 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	75	5	3,02 kg/m	12m	236 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	2,5	1,56 kg/m	6m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	3	1,86 kg/m	3m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	3	1,86 kg/m	4,07m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	3	1,86 kg/m	6m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	3	1,86 kg/m	7m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	76	4	2,44 kg/m	6m	239 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	1,5	1,00 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	2	1,32 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	2,5	1,65 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	3	1,96 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	5	3,18 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	5	3,18 kg/m	6m	251 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock
Tubes Round	80	8	4,88 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	80	10	5,94 kg/m	6m	251 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	84	2	1,39 kg/m	6m	264 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	85	5	3,40 kg/m	6m	267 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	86	3	2,11 kg/m	6m	270 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	89	2	1,48 kg/m	6m	280 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	89	3	2,19 kg/m	6m	280 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	2	1,49 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	3	2,22 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	4	2,92 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	5	3,60 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	10	6,78 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	90	20	12,00 kg/m	6m	283 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	92	5	3,70 kg/m	6m	289 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	1,5	1,26 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	2	1,66 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	2,5	2,07 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	3	2,47 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	4	3,26 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	4	3,26 kg/m	8m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	4	3,26 kg/m	6m	314 mm	EN AW-5754 / AlMg3	Stock
Tubes Round	100	5	4,03 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	10	7,63 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	100	20	13,60 kg/m	6m	314 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	106	3	2,62 kg/m	6m	333 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	108	2,5	2,24 kg/m	6m	339 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	108	3	2,67 kg/m	6m	339 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	108	4	3,54 kg/m	6m	339 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock

Article	ØA	B	Weight	L	Circumference	Alloy EN	Disp.
Tubes Round	108	5	4,36 kg/m	6m	339 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	110	2,5	2,28 kg/m	6m	346 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	110	3	2,72 kg/m	6m	346 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	110	5	4,45 kg/m	6m	346 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	114,3	3	2,85 kg/m	6m	359 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	114,3	6	5,50 kg/m	6m	359 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	2	2,00 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	3	2,98 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	5	4,88 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	8	7,60 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	10	9,33 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	120	15	13,35 kg/m	6m	377 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	130	5	5,30 kg/m	6m	408 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	130	10	10,18 kg/m	6m	408 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	133	3	3,31 kg/m	6m	418 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	133	4	4,38 kg/m	6m	418 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	140	2	2,44 kg/m	6m	440 mm	EN AW-1050 / Al 99,5	Stock
Tubes Round	140	3	3,48 kg/m	6m	440 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	140	5	5,72 kg/m	6m	440 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	150	3	3,74 kg/m	6m	471 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	150	5	6,15 kg/m	6m	471 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	150	10	11,87 kg/m	6m	471 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	156	3	3,90 kg/m	6m	490 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	160	3	4,01 kg/m	6m	503 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	160	4	5,29 kg/m	6m	503 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	160	5	6,57 kg/m	6m	503 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	170	5	7,00 kg/m	6m	534 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	180	5	7,42 kg/m	6m	566 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	190	3	4,76 kg/m	6m	597 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	200	3	5,02 kg/m	6m	628 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	200	5	8,27 kg/m	6m	628 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	208	4	6,93 kg/m	6m	628 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	219	4	7,29 kg/m	Rest	688 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	230	5	9,55 kg/m	6m	723 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	240	5	9,97 kg/m	6m	754 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	250	5	10,40 kg/m	6m	785 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	250	10	20,36 kg/m	Rest	785 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	273	4	9,13 kg/m	6m	858 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock
Tubes Round	300	4	10,55 kg/m	Rest	943 mm	EN AW-6060 T66/ AlMgSi	Stock

Round Tubes



Sl. No	Section No.	Dimensions - mm		Weight Kg/m
		A	B	
1	B-180	5.70	1.20	0.045
2	B-205	6.43	0.60	0.030
3	B-153	7.94	1.22	0.070
4	B-173	8.00	1.00	0.059
5	B-171	8.00	1.20	0.069
6	B-188	8.50	0.50	0.040
7	B-191	8.50	1.20	0.075
8	B-182	8.70	2.55	0.135
9	B-154	9.00	0.50	0.036
10	B-110/L	9.00	0.60	0.460
11	B-110	9.00	0.70	0.049
12	B-111	9.00	0.80	0.056
13	B-114	9.50	1.40	0.096
14	B-193	9.50	1.50	0.102
15	B-112	9.52	0.90	0.065
16	B-113	9.52	1.00	0.072
17	B-148	9.52	1.20	0.084
18	B-204	9.60	1.60	0.108
19	B-187	10.00	0.50	0.040
20	B-184	10.70	0.50	0.043
21	B-186	11.80	0.50	0.048
22	B-121	12.00	0.50	0.050
23	B-255	12.00	0.55	0.055
24	B-115	12.00	0.70	0.067
25	B-116	12.00	0.80	0.076
26	B-117	12.00	0.85	0.085
27	B-122	12.00	1.00	0.094
28	B-196	12.60	2.45	0.212
29	B-256	12.70	0.70	0.072
31	B-174	12.70	1.20	0.117
32	B-119	12.70	1.25	0.121
33	B-192	12.70	1.30	0.126
34	B-120	12.70	1.35	0.130
35	B-176	12.70	2.50	0.216
36	B-254	12.80	2.50	0.218
37	B-181	14.00	4.35	0.360
38	B-253	14.20	3.20	0.300
39	B-197	14.20	3.25	0.303
40	B-257	15.88	0.60	0.077
41	B-123/L	15.88	0.65	0.084
42	B-123/H	15.88	0.75	0.096
43	B-123	15.88	0.82	0.105
44	B-125	15.88	1.00	0.126
45	B-124	15.88	1.05	0.132
46	B-183	15.88	1.20	0.150
47	B-126	15.88	1.30	0.160
48	B-172	15.88	1.50	0.182
49	B-157	15.88	2.47	0.281
50	B-150	16.00	2.20	0.257
51	B-151	17.10	2.10	0.267
52	B-127/EL	18.00	0.60	0.088
53	B-127/L	18.00	0.75	0.110
54	B-127	18.00	0.80	0.120
55	B-128	18.00	0.90	0.130
56	B-128/H	18.00	0.95	0.137
57	B-130	18.00	1.20	0.171
58	B-149	18.00	1.80	0.247
59	B-258	19.05	0.70	0.108
60	B-129	19.05	1.25	0.190

61	B-131	19.05	1.45	0.216
62	B-140	19.60	2.30	0.337
63	B-177	19.60	2.50	0.362
64	B-156	20.10	2.90	0.427
65	B-132	21.70	0.75	0.133
66	B-132/L	21.70	0.80	0.142
67	B-132/H	21.70	0.95	0.167
68	B-133	21.70	1.10	0.191
69	B-152	21.50	2.50	0.403
70	B-142	22.30	3.65	0.577
71	B-259	24.00	1.74	0.328
72	B-206	24.50	0.85	0.172
73	B-135/EL	25.00	0.60	0.130
74	B-135/L	25.00	0.70	0.145
75	B-135	25.00	0.75	0.155
76	B-136	25.00	1.00	0.204
77	B-251	25.00	1.05	0.213
78	B-137	25.00	1.15	0.235
79	B-260	25.00	1.35	0.272
80	B-104	25.00	1.70	0.360
81	B-134	25.00	2.00	0.390
82	B-250	25.00	2.75	0.520
83	B-195	25.00	6.50	1.020
84	B-147	25.40	1.63	0.328
85	B-263	25.40	2.03	0.402
86	B-105	28.00	1.70	0.379
87	B-161	28.60	1.20	0.278
88	B-163	28.60	1.30	0.301
89	B-141	28.60	3.30	0.701
90	B-252	29.00	2.50	0.561
91	B-207	29.50	1.00	0.245
92	B-165	30.00	1.10	0.270
93	B-159	30.00	1.70	0.407
94	B-200	31.00	3.00	0.715
95	B-139	31.75	0.95	0.250
96	B-198	32.00	2.00	0.510
97	B-145	32.00	3.50	0.846
98	B-166	32.50	3.50	0.910
99	B-103	35.00	1.70	0.504
100	B-164	36.00	1.20	0.353
101	B-201	36.00	3.00	0.965
102	B-143	37.00	4.00	1.119
103	B-102	38.00	1.70	0.548
104	B-144	38.00	2.00	0.644
105	B-167	38.00	3.00	0.890
106	B-138	38.10	0.85	0.270
107	B-138/H	38.10	1.05	0.330
108	B-267	38.10	3.96	1.146
109	B-109	40.00	1.70	0.552
110	B-162	40.00	2.50	0.795
111	B-199	40.00	3.00	0.942
112	B-108	42.00	1.70	0.605
113	B-266	42.16	3.56	1.165
114	B-202	45.00	4.50	1.545
115	B-101	45.00	7.50	2.384
116	B-190	45.00	9.00	2.750
117	B-155	46.00	1.70	0.639
118	B-146	46.00	5.00	1.750
119	B-170	48.00	4.00	1.492
120	B-271	48.00	8.50	2.845

121	B-168	49.80	2.70	1.078
122	B-107	50.00	1.90	0.775
123	B-179	50.00	2.00	0.814
124	B-160	50.00	3.00	1.196
125	B-169	50.00	6.00	2.239
126	B-270	54.00	10.00	3.730
127	B-106	55.00	1.90	0.856
128	B-158	60.00	1.90	0.936
129	B-175	60.00	3.00	1.450
130	B-264	70.00	1.00	0.585
131	B-269	70.00	2.00	1.150
132	B-208	72.00	9.00	4.815
133	B-265	77.00	3.00	1.885
134	B-262	80.78	2.00	1.369
135	B-268	88.00	4.00	2.848
136	B-274	89.50	5.50	3.920
137	B-273	100.00	2.50	2.067
138	B-275	100.00	5.00	4.029

## Παράρτημα Β

Εταιρίες που σχεδιάζουν  
και κατασκευάζουν  
γεωδαιτικούς θόλους

Affordable Dome Ceilings Inc Updated: Oct 2002  
Melbourne, FL 32935 Tel: 321-259-759

Aluminum Geodesic Domes and Spheres Updated: Oct  
2002  
2111 Southwest 31st Avenue Edwin O'Toole  
Hollywood, FL 33021 Tel: 954-963-2341 Fax:

American Geodesics, Inc. Updated: Oct 2002  
1505 Webster St. Ben Rose  
Richmond VA 23220-2319 Tel: 804-643-3184  
a.k.a. Semispheres Building Systems

American Ingenuity, Inc. Updated: Oct 2002  
8777 Holiday Springs Road  
Rockledge, FL 32955-5805 Tel: 321-639-8777  
Planning kit; Video; EPS Foam covered w/concrete Shells  
<http://www.aidomes.com/>

Applied Geodesics, Inc. Updated: Nov 2002  
P.O. Box 61741  
Vancouver, WA. 98660 Tel: 877-518-1110  
<http://www.agidomes.com/>

Asphalt Sealcoating Products Updated: Oct 2002  
2111 Sw 31st Avenue  
Hollywood, FL 33021 Tel: 305-625-9436

Astro-Tec Inc Updated: Oct 2002  
550 Elm Ridge Avenue  
Canal Fulton, OH 44614 Tel: 330 854 2209  
<http://www.astro-tec.com/>

Charter Industries Inc Dome Strctrs Updated: Oct 2002  
5325 Barclay Drive  
Raleigh, NC 27606 Tel: 919-859-1872

Common Wealth Solar Svs. Updated: Oct 2002  
12433 Autumn Sun Lane  
Ashland VA, 23005 Tel: 804-798-5371  
<http://www.commonwealthsolar.com/>

Conservatek Updated: Nov 2002  
498 Loop 336 E.  
Conroe, TX 77301 Tel: 800-880-3663 Fax: 936-539-5355  
<http://www.conservatek.com/>

Deery Development Inc Updated: Oct 2002  
28101 South Yates Avenue  
Beecher, IL 60401 Tel: 708-946-9292

Dome Inc Updated: Oct 2002  
2550 University Avenue West  
Saint Paul, MN 55114 Tel: 612-333-3663  
<http://www.domeincorporated.com/>

Domelite of Arizona Updated: Oct 2002  
Phoenix, AZ 85034 Tel: 602-264-6631  
<http://www.domeliteaz.com/>

Domes America, Inc. Updated: Oct 2002  
126 S. Villa Ave. Bob Casey  
Villa Park, IL 60181 Tel: 630-993-1801  
Fax: (630) 993 1809  
800-323-5548  
<http://www.arcacat.com/arcacatcos/cos32/arc32021.cfm>

Domes Northwest Updated: Nov 2002  
335 Vedelwood Drive  
Sandpoint, Idaho 83864 Tel: 208-255-4840  
<http://www.domesnorthwest.com/>

Domtec International Updated: Oct 2002  
4355 N Haroldsen Drive  
Idaho Falls, ID 83401 Tel: 208-522-5520  
<http://www.domtec.com/>

Econ-O-Dome Updated: Oct 2002  
RR 1, Box 295B



Sullivan, IL 61951                      Tel: 1-888-DOME-LUV (1-888-366-3588)

<http://www.one-eleven.net/econodome/>  
[fazechange@one-eleven.net](mailto:fazechange@one-eleven.net)

Energy Structures, Inc.  
893 Wilson Avenue  
St. Paul, MN 55106  
1207

Updated: Oct 2002

Joe & Kevin Frawley  
Tel: 651-772-3559      Fax: 612-772-

800-334-8144

<http://www.intlist.com/>

Fourth Dimension Housing  
190 N. Livingston Bay Rd.  
Camano Island, WA 98282  
<http://www.archdome.com/>

Updated: Oct 2002

Tel: 360-387-1438  
1-888-301-7715

Geocon Manufacturing Inc  
1502 Antelope Road  
White City, OR 97503

Updated: Oct 2002

Tel: 541 826 4545

Geodesic Domes and Homes Co.

Updated: Oct 2002

P.O. Box 575

Larry Knackstedt      Ray Howard

Whitehouse, TX 75791

Tel: 903-839-2000

<http://www.domehomes.com/>

Fax: (903) 839 7228

(800) 825-2389

email: [sales@domehomes.com](mailto:sales@domehomes.com)

<http://www.domehomes.com>

GeoDomes Woodworks

Updated: Oct 2002

6876 Indiana Avenue, Suite L      Bob Davies & Glenn Van Doren

Riverside, CA 92501

Tel: 909-787-8800      Fax: 909-787-

7089

Home Planning Guide; Wood kits

Geometrica, Inc.

Updated: Nov 2002

908 Town & Country Blvd., Suite 330

Houston, TX 77024

Tel: 713-722-7555 Fax: 713-722-

0331

<http://www.geometrica.com/>

Geo Tech Systems. Inc.  
Corporate Office

Updated: Nov 2002

775 Bunker Hill Rd.  
South Tamworth, NH 03883      Tel: 603-323-8180  
<http://www.domes.to/>

Hexadome      Updated: Nov 2002  
Glencor International  
PO Box 519  
Mount Compass  
South Australia 5210      Tel: (08) 8556 8701  
<http://members.ozemail.com.au/~hexadome/>

Good Karma Domes      Updated: Nov 2002  
James Lynch  
3531 S.W. 42nd street  
Oklahoma City, OK 73119      Tel: 405-685-4822  
<http://www.goodkarmadomes.com/>

Growing Spaces      Updated: Nov 2002  
P.O. Box 5518  
Pagosa Springs, CO 81147      Tel: 800-753-9333  
<http://geodesic-greenhouse-kits.com>

Hexadome      Updated: Oct 2002  
Gene Hopster  
El Cajon, CA 92020      Tel: 619 440 0434

Key Dome Inc.      Updated: Oct 2002  
10393 Southwest 186th      Peter Vanderklaaw  
Miami, FL 33157      Tel: 305-233-9000  
[From Bruce Carroll]: If your looking just for plans/blueprints, try  
Key  
Domes, in Miama, FL (305)-665-3541. They have 3 different types  
of plans  
(foam/concrete, plywood on 2X4/6, and plywood panels).

KCS (KingDomes)      Updated: Oct 2002  
P.O. Box 980427      Einar Thorstein  
Houston, TX 77098      Tel:      Fax:  
EDC Booklet (European design, 163 solutions, kits, math)  
<http://www.mmedia.is/kingdome/>

Littlewood Geodesic Domes      Updated: Nov 2002  
3814a - 53a Street

Wetaskiwin, Alberta  
Canada T9A 2T7                      Tel: (780) 352-2569 or 497-0513  
<http://www.freenet.edmonton.ab.ca/domes/>

Monolithic Constructors, Inc.                      Updated: Oct 2002  
177 Dome Park Place                      Tel (972)483-7423 - Fax (972)483-  
6662  
Italy, TX 76651                      Tel: 800-608-0001                      Fax:  
Video; Free brochure; Concrete Domes  
<http://www.monolithicdome.com/>

Natural Spaces Domes                      Updated: Nov 2002  
37955 Bridge Road,                      Dennis Johnson  
North Branch, MN 55056                      Tel: 800-733-7107                      Fax:  
Local Phone: 651 674 4292  
``All About Domes"; Video; Wood kits; Dome building classes  
[Tom Dosemagen] Inquire about their ``All About Domes" book.  
Dennis has

developed two different hub and strut systems for constructing  
domes.

The people at Natural Spaces, who have been in the dome  
business

for over 20 years, feel that the best way to insulate a dome is with  
fiberglass insulation.

<http://www.naturalspacesdomes.com/>

Natural Habitat Domes                      Updated: Oct 2002  
N4981 County Road "S"  
Plymouth, WI 53073                      Tel: 920 893 5308  
<http://www.naturalhabitatdomes.com/>

New Age Construction Co.                      Updated: Nov 2002  
13288-T Domes Ridge  
Duncanville, AL 35456                      Tel: 205-758-1996  
<http://www.newagedomeconstruction.com/>

Northface                      Unverified  
999 Harrison Court                      Bruce Hamilton  
Berkeley, CA 94710                      Tel: 415-527-9700                      Fax:

Oregon Dome, Inc.                      Updated: May 1999  
25331 Jeans Rd.                      Roger & Linda Boothe  
Veneta, OR 97487                      Tel: 541-935-5444

Phone: (800) 572-8943  
<http://www.domes.com/>

Pacific Domes Updated: Nov 2002  
247 Granite Street  
Ashland, OR 97520 Tel: 1-541-488-7737  
1-888-488-8127  
<http://www.pacificdomes.com/>

P.D. Structures Updated: Nov 2002  
180-4 Poplar St. Robert Gray  
Rochester, NY 14620 Tel: 585-256-3918  
[rwgray@rwgrayprojects.com](mailto:rwgray@rwgrayprojects.com)  
<http://www.rwgrayprojects.com/company/company.html>  
Pillow Domes

Pond-Brook Products Unverified  
P.O. Box 301 Gladys Payne  
Franklin Lakes, NJ 07412 Tel: Fax:  
Hexa-Pent Dome Plans

Precision Structures LLC Updated: Oct 2002  
2565 Potter St.  
Eugene, OR 97405 Tel: Fax:  
Book; ``Professional Dome Plans"; See Mother Earth News, 1-90  
A book of detailed shop drawings and formulas for building wood  
framed,  
3v icosahedron, panelized geodesic domes.  
<http://www.domeplans.com/>

Shadow Wood Domes Inc Updated: Nov 2002  
15250 South Paradise Lane  
Mulino, OR 97042 Tel: 503 829 6370  
AnyWho Categories: Dome Structures

Shelter Systems-OL Updated: Nov 2002  
224 Walnut St. Bob Gillis  
Menlo Park, CA 95060 Tel: 650-323-6202 Fax: 650-  
323-1220  
Large dome tents, greenhouses, etc.  
<http://www.shelter-systems.com/>

Solardome Industries Ltd. Updated: Nov 2002

P.O. Box 767  
Southampton, SO16 7UA  
United Kingdom Tel: +44 (0) 23 80 767676  
<http://www.solardome.co.uk/>

Starnet International Corp. Updated: Nov 2002  
200 Hope St.  
Longwood, FL 32750 Tel: 407-830-1199 Fax: 407-830-1817  
<http://starnetint.com/>

Stromberg's Chicks & Gamebirds Updated: Nov 2002  
100 York Street  
Pine River, 4, MN 56474 Tel: 218-587-2222 Fax:  
Starplate struts to build a dome shed/greenhouse up to 14' diam  
[http://www.strombergschickens.com/starplate\\_building\\_system/starplate\\_index.htm](http://www.strombergschickens.com/starplate_building_system/starplate_index.htm)

Synapse Domes (name may be defunct) Updated: Nov 2002  
Marshall Brasil and Scott Sims  
Brasel & Sims Construction Co  
1290 N 2 St  
Lander, WY 82520  
307-332-5773  
This company may involve the principles from Synapse Domes. I have not been able to verify. No websites could be found.

Temcor Updated: Nov 2002  
PO Box 48008  
150 West Walnut Street, Suite 150  
Gardena, CA 90248 Don Richter Tel: 310-523-2322  
800-421-2263 within US  
Large aluminum commercial domes  
<http://www.temcor.com/>

Timberline Geodesics Inc Updated: Nov 2002  
2015 Blake Street Robert M. Singer  
Berkeley, CA 94704 Tel: 510-849-4481 Fax: 510-849-3265  
Catalog; Video Tape; Wood kits  
Toll-Free: 800-366-3466 (1-800-DOME-HOME)  
<http://www.domehome.com/>

Ultraflote Corp. Updated: Nov 2002  
8558-T Katy Freeway, Suite 100  
Houston, TX 77024 1809 Tel: 713-461-2100 Fax: 713-461-  
2213

Western Poly Dome Updated: Nov 2002  
23430 High Bridge Road  
Monroe, WA 98272 Tel: 360 794 4645

Worldflower Garden Domes Updated: Nov 2002  
P.O. Box 2103 Tel: 512 863 2762  
Georgetown, Tx. 78627  
<http://www.gardendome.com/>

SouthEastDomes.com & TacoDome.co are Divisions of:  
World Merchandising Company Updated: Nov 2002  
160 Bream Lane  
Kingston, TN 37763  
David Martin Tel: 865-376-2161  
<http://david.martiiii.tripod.com/index-2.html>

